

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ELECTROMECÁNICO
AUTOSUFICIENTE ENERGÉTICAMENTE INCORPORADO A UNA
BICICLETA Y VINCULADO MEDIANTE COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL
A UN DISPOSITIVO MÓVIL PARA LA VISUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE
ESTADÍSTICAS DE USO**

JOHAN GABRIEL RODRÍGUEZ URBINA
SEBASTIAN LONDOÑO CAMARGO

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ
2016

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ELECTROMECÁNICO
AUTOSUFICIENTE ENERGÉTICAMENTE INCORPORADO A UNA
BICICLETA Y VINCULADO MEDIANTE COMUNICACIÓN EN TIEMPO REAL
A UN DISPOSITIVO MÓVIL PARA LA VISUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE
ESTADÍSTICAS DE USO**

JOHAN GABRIEL RODRÍGUEZ URBINA
SEBASTIAN LONDOÑO CAMARGO

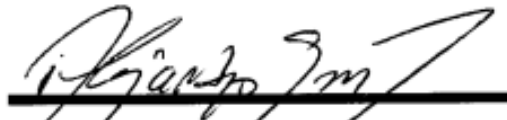
TRABAJO DE GRADO

DIRECTOR
ALEJANDRO GAMBOA MÁRQUEZ
INGENIERO QUÍMICO
MSC. INGENIERÍA BIOMÉDICA

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ
2016

Nota de Aceptación

Por medio de la presente se da
aceptación al siguiente
documento y total apoyo al
mismo.



Director
MSc-Ing. Alejandro Gamboa
Márquez



Estudiante
Johan Gabriel Rodríguez Urbina



Estudiante
Sebastian Londoño Camargo

Bogotá. Miércoles, 2 de junio de 2016

Agradecimientos

Primero que todo agradecer a Dios, sin él no hubiese sido posible nada en lo absoluto y a nuestras familias por su apoyo incondicional a lo largo de nuestras vidas y claro está, para emprender este proyecto y sacarlo adelante.

Agradecer a nuestro tutor, el Ingeniero Alejandro Gamboa Márquez, quien ha sido un guía muy importante en el desarrollo del presente trabajo y un apoyo constante.

A todas la personas que hemos consultado en el transcurso de la realización del mismo, en especial al profesor Ingeniero Néstor Fernando Penagos, quien nos ha brindado su opinión y recomendaciones.

A la Universidad Piloto de Colombia, especialmente a la Facultad de Ingeniería Mecatrónica, a sus docentes y a todo el personal que labora en ella, que nos han dado la oportunidad de optar al título de ingeniero mecatrónico.

CONTENIDO

Pág.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Planteamiento del problema	15
1.1.1 Descripción del problema	15
1.1.2 Formulación del problema	15
1.2 Justificación	15
1.3 Objetivos	15
1.3.1 General	15
1.3.2 Específicos	15
1.4 Delimitación del proyecto	16
1.4.1 Alcances y limitaciones	16
1.4.2 Línea de investigación del programa	16
1.4.3 Marco teórico	16
1.4.4 Estado del arte	19
1.5 Metodología	24
1.6 Recursos	25
 CAPÍTULO 2. SISTEMA DE GENERACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA	 26
2.1 Señal de la dínamo	26
2.2 Rectificación de la señal de la dínamo	27

2.3 Batería.....	28
2.4 Regulador de voltaje para alimentar la batería.....	29
2.5 Regulador <i>Buck-Boost</i> Ajustable a 5V para alimentar el circuito	29
2.6 Circuito completo	30
2.7 Pruebas y caracterización de la dínamo (Voltaje vs Velocidad)	31
CAPÍTULO 3. INFORMACIÓN RELEVANTE PARA CICLISTAS	38
3.1 Variables de rendimiento y huella ecológica.....	38
3.1.1 Variables de rendimiento	38
3.1.2 Huella ecológica.....	42
3.2 Relación entre datos y las variables de rendimiento.....	43
3.2.1 Tiempo del recorrido	45
3.2.2 Distancia recorrida	45
3.2.3 Velocidad promedio	45
3.2.4 Velocidad máxima.....	45
3.2.5 Cadencia promedio	46
3.2.6 Cadencia máxima	46
3.2.7 Potencia máxima	46
3.2.8 Potencia promedio	46
3.2.9 Consumo máximo de oxígeno	47
3.2.10 Consumo promedio de oxígeno	47
3.2.11 Ritmo cardíaco promedio	47

3.2.12 Ritmo promedio.....	48
3.2.13 Kilocalorías consumidas	48
3.2.14 Kilogramos de CO ₂ ahorrados	49

CAPÍTULO 4. SISTEMA ELECTRÓNICO Y PROCESAMIENTO DE DATOS 50

4.1 Parámetros para el diseño del sistema electrónico.....	50
4.1.1 Sensores.....	50
4.1.2 Bluetooth.....	51
4.1.3 Microcontrolador	52
4.1.4 Sistema electrónico final	56
4.2 Sistema electrónico autosuficiente	57
4.3 Programación del sistema electrónico	61

CAPÍTULO 5. INTERFAZ DE COMUNICACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN63

5.1 Pantalla 1, principal	63
5.2 Pantalla 2, ingreso de datos.....	65
5.3 Pantalla 3, datos instantáneos.....	66
5.4 Pantalla 4, historial de actividades.....	68
5.5 Pantalla 5, datos estadísticos	68
5.6 Pantalla 6, gráfica	70

CAPÍTULO 6. PRUEBAS DEL SISTEMA72

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	79
GLOSARIO	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Recursos.....	25
Tabla 2. Relación Voltaje-frecuencia a la salida de la dínamo.....	26
Tabla 3. Comparación baterías.....	28
Tabla 4. Voltaje de rizado pico.....	37
Tabla 5. Voltaje regulado a la entrada de la batería	37
Tabla 6. Índices de potencia aeróbica de ciclistas de alto rendimiento.....	42
Tabla 7. Nomenclatura de variables para las ecuaciones.....	44
Tabla 8. Comparación entre sensores.....	50
Tabla 9. Comparación transmisión inalámbrica	52
Tabla 10. Comparación de microcontroladores	53
Tabla 11. Nomenclatura de variables	54

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Dínamo tipo botella	17
Figura 2. Señal de salida de la dínamo a diferentes velocidades	26
Figura 3. Rectificación a través del puente de diodos.....	27
Figura 4. Puente rectificador con filtro paso bajo	28
Figura 5. Circuito <i>Buck</i> regulador de 7.2 V	29
Figura 6. Regulador <i>Buck-Boost</i> de voltaje a 5V	30
Figura 7. Circuito de aprovechamiento completo.....	31
Figura 8. Medición y comparación entre señal de entrada y salida	31
Figura 9. Esquemático del circuito de Arduino.....	32
Figura 10. Diagrama de flujo programación Arduino primera prueba	32
Figura 11. Primera prueba	33
Figura 12. Diagrama de flujo Arduino segunda prueba.....	33
Figura 13. Segunda prueba	34
Figura 14. Segunda prueba con tratamiento estadístico.....	35
Figura 15. Histograma de velocidad en segunda prueba.....	35
Figura 16. Gráfica del recorrido en la segunda prueba.....	36
Figura 17. Eficiencia energética.....	40
Figura 18. Sensor efecto Hall.....	50
Figura 19. Acondicionamiento del sensor de efecto Hall	51

Figura 20. Esquemático del sistema electrónico.....	57
Figura 21. Esquemático del circuito completo del sistema	57
Figura 22. Tarjeta.....	58
Figura 23. Foto del circuito impreso, con los componentes	58
Figura 24. Foto del sistema final.....	59
Figura 25. Foto de la bicicleta con el sistema final.....	59
Figura 26. Foto del sistema final instalado en la bicicleta	60
Figura 27. Foto del sensor de velocidad en la rueda	60
Figura 28. Foto del sensor de cadencia en el pedal	60
Figura 29. Diagrama de flujo programación del microcontrolador.....	62
Figura 30. Ícono de la aplicación BIKEnergy	63
Figura 31. Pantalla 1, principal.....	63
Figura 32. Lista de dispositivos bluetooth	64
Figura 33. Primer mensaje de advertencia	64
Figura 34. Segundo mensaje de advertencia, con sus dos variantes	65
Figura 35. Pantalla 1, iniciar actividad	65
Figura 36. Pantalla 2, con advertencia.....	66
Figura 37. Pantalla 3, datos instantáneos.	66
Figura 38. Pantalla 3, cambios de fondo según la velocidad	67
Figura 39. Resumen de la actividad y ventana de texto	67
Figura 40. Pantalla 4.....	68

Figura 41. Pantalla 5.....	69
Figura 42. Ventana de error para grafica menor a un minuto	69
Figura 43. Pantalla 6, gráfica cadencia y velocidad	70
Figura 44. Diagrama de funcionamiento de la aplicación	71
Figura 45. Comparación de datos obtenidos prueba cero	72
Figura 46. Comparación de datos obtenidos en la primera actividad	73
Figura 47. Comparación de datos obtenidos en la segunda actividad.....	73
Figura 48. Comparación de datos obtenidos, tercera actividad	74
Figura 49. Actividad 3, gráficas de velocidad entre BIKEnergy y Runtastic.....	74
Figura 50. Comparación de datos obtenidos, cuarta actividad	75
Figura 51. Actividad 4, gráficas de velocidad entre BIKEnergy y Runtastic.....	75
Figura 52. Comparación de error relativo para aplicaciones.....	76
Figura 53. Error GPS Biko	77

RESUMEN

En este trabajo se llevó a cabo el diseño de un sistema energéticamente autosuficiente, para su uso en una bicicleta. Este es capaz de obtener información relacionada con el desempeño del ciclista y transmitirla a un dispositivo móvil, para la posterior visualización de datos estadísticos de rendimiento deportivo y disminución de emisiones nocivas al medio ambiente.

Lo anterior, con el fin de hacer al ciclista partícipe de una solución ambiental, por hacer uso de la bicicleta como medio alternativo de transporte, al mismo tiempo que se le incentiva a tener un progreso en su rendimiento deportivo.

Para que el sistema sea autosuficiente energéticamente se necesita una fuente generadora de energía renovable. Para este propósito se eligió una dínamo de botella, a la cual se le realizó una caracterización energética, para verificar que cumple con la demanda de energía del sistema y de conocer su comportamiento cuando se usa en una bicicleta.

El sistema diseñado obtiene mediciones de velocidad y cadencia a través de dos sensores, para que un microcontrolador las transmita mediante un módulo *Bluetooth* a un teléfono móvil. Los datos transmitidos por el sistema, son recibidos por un teléfono inteligente, a través de una aplicación móvil, que se desarrolló con el propósito de mostrar información relacionada con el rendimiento deportivo y el aporte ambiental del ciclista.

Para elegir las variables de rendimiento deportivo, se realizó un estudio tomando en cuenta varias fuentes académicas, enfocadas en la investigación de los parámetros que influyen en el rendimiento deportivo. También se consultó información académica en cuanto a la contribución ambiental por el uso de la bicicleta y su eficiencia energética comparada con otros medios de transporte.

Palabras clave: Bicicleta, ciclista, dínamo, energía, *Bluetooth*, teléfono inteligente, aplicación móvil, estadísticas, rendimiento, eficiencia, medio ambiente.

ABSTRACT

In this work, the design of a self-sufficient energy system for use in a bicycle was carried out. The device is able to get information about cyclist's performance and send it to a smartphone, for the subsequent display of statistical data about sport performance and pollution decrease.

The former with the goal of making the cyclist part of an ecological solution, as a result of the use of the bicycle, as an alternative conveyance, while encouraging an improvement of the sport performance.

For the device to be self-sufficient, a renewable power source is needed. For this purpose a bottle dynamo was chosen, a characterization was made to verify that the energy demand is fulfilled by the dynamo and to know about the behavior when used in a bicycle.

The designed device obtains speed and cadency measurements from two sensors, in order to transmit them through by microcontroller via a bluetooth module to a smartphone. The transmitted data from the device are received in a smartphone by an app, which was developed for displaying information related to sport performance and cyclist's environmental contribution.

To choose the sport performance variables, a study was made taking into account academics sources, with a primary focus on the research of sport performance parameters. Additionally, a review was made regarding academic information about environmental contribution by using of the bicycle and its efficiency compared with other conveyances.

Key words: *Bicycle, cyclist, dynamo, energy, bluetooth, smartphone, app, statistics, performance, efficiency, environment.*

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Descripción del problema

Teniendo en cuenta las megatendencias actuales de consumidor ecológico y virtualidad cotidiana¹, existe la necesidad de suplir con información constante a las personas, para que tomen decisiones que aporten a solventar la crisis ambiental que se vive en la actualidad.

Es importante encontrar una forma de incentivar a las personas para que usen la tecnología, realicen actividad deportiva, conozcan su rendimiento y aporte al medio ambiente, para que se sientan parte de la solución al problema medioambiental.

1.1.2 Formulación del problema

¿De qué manera se puede suplir la demanda de información que una persona necesita usando la virtualidad cotidiana?

¿Cómo se incentiva a la gente a que consuma productos que disminuyen el impacto negativo al medio ambiente?

1.2 Justificación

Este trabajo se basa en la necesidad actual de que las personas se mantengan informadas, mejoren su estado físico y aporten a solucionar el cambio climático, ya que estas tendencias están en auge.

El proyecto va dirigido a cualquier persona que haga uso de una bicicleta y quiera tener conocimiento de su rendimiento, mejorar sus marcas individuales y ver su progreso en el tiempo. Esto, con la implementación de dispositivos y tecnologías que sean amigables con el medio ambiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Diseñar y desarrollar un sistema electromecánico capaz de transferir datos registrados por el uso de una bicicleta, para su posterior visualización.

1.3.2 Específicos

- Diseñar un sistema electromecánico para la generación y aprovechamiento de energía.

¹ GRUPO DE DESARROLLO REGIONAL DE MONTERREY. Consumidor ecológico y Virtualidad cotidiana. En: Las megatendencias tecnológicas actuales y su impacto en la identificación de oportunidades estratégicas de negocios. 1 ed. Monterrey: Tecnológico de Monterrey, 2009. p. 25-33, 123-134. ISBN 978-607-7517-25-2.

- Realizar un estudio de funcionalidad enfocado a la selección de los criterios que serán tenidos en cuenta como estadísticas.
- Obtener mediciones del sistema y establecer una relación entre los datos obtenidos y la información estadística para el usuario.
- Crear un entorno visual donde se mostrará la información estadística.

1.4 Delimitación del proyecto

1.4.1 Alcances y limitaciones

Alcances:

- Circuito electrónico autosuficiente energéticamente.
- Sistema de adquisición de datos.
- Comunicación entre el sistema y una interfaz visual.
- Aplicabilidad a distintos tipos de bicicleta.

Limitaciones:

- Capacidad de obtención y almacenamiento de energía eléctrica.
- Tamaño y peso del sistema diseñado.
- Características de los dispositivos electrónicos.
- Características técnicas del teléfono inteligente.

1.4.2 Línea de investigación del programa

Energías renovables: Se trabajó en esta línea de investigación ya que el sistema que transmite los datos es autosuficiente energéticamente y aprovecha la energía humana como fuente generadora; siendo esta, una energía alternativa o renovable.

Marco referencial

1.4.3 Marco teórico

- *Principio de inducción electromagnética*

Es un proceso en el cual se induce una corriente a través de un conductor mediante la variación del flujo de campo magnético respecto al tiempo a través de la superficie del conductor; lo que a su vez también induce una “*FEM*” (Fuerza Electromotriz).

Este principio está regido por la ley de Faraday, la cual expresa que la *FEM* inducida es proporcional a la rapidez de cambio del flujo magnético a través del conductor². Para generar corriente alterna se hace uso de un alternador que

² SERWAY, Raymond A. y BEICHNER, Robert J. Ley de Faraday. En: FÍSICA Para Ciencias e Ingeniería. 5 ed. México D.F.: MCGRAW-HILL, 2001. vol. 2. p. 979-984. ISBN 970-10-3582-8.

consta de un imán fijo (Campo magnético constante) y una bobina en movimiento, la cual genera una corriente alterna inducida.

Para generar corriente continua se usa la dínamo, la cual se diferencia del alternador por tener un conmutador que alterna las escobillas en cada media vuelta, para así generar corriente continua inducida³.

- *La dínamo*

La dínamo es un dispositivo transductor, el cual transforma energía mecánica en energía eléctrica.

Hay muchos tipos de dínamos, pero para el uso en una bicicleta el más común es la dínamo tipo botella y se instala en la llanta como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Dínamo tipo botella



En realidad este transductor tipo botella funciona como un alternador, a pesar de que es conocido comercialmente como dínamo. Está constituido por unos imanes fijos y un eje que gira con un embobinado, el cual produce una corriente inducida debido al movimiento que la llanta le transmite a este eje, generando así corriente alterna.

- *Procesamiento de señales*

Para obtener una corriente continua a partir de una corriente alterna y usarla como fuente de alimentación se usan rectificadores y filtros analógicos.

Los rectificadores son circuitos realizados con diodos que se encargan de convertir una corriente alterna a una corriente continua, al cambiar la forma de onda de la señal de entrada. Son usados en las fuentes de alimentación de equipos electrónicos.

Existen dos tipos en función del número de diodos que usan: el rectificador de media onda formado por un diodo y el de onda completa, que puede ser con

³ Ibid., p. 994-996

transformador de toma intermedia con dos diodos o rectificador con puente formado por cuatro diodos.

Los filtros son circuitos realizados con componentes pasivos como condensadores, bobinas o ambos, para trabajar con la frecuencia de la señal.

Hay tres tipos: filtro paso bajo, filtro paso alto y filtro paso banda. El filtro paso bajo deja pasar únicamente aquellas frecuencias que están por debajo de una determinada frecuencia⁴.

- *Transmisión de datos*

En la actualidad hay 2 tipos de transmisión, la alámbrica y la inalámbrica, por supuesto la comunicación inalámbrica evita inconvenientes con los cables.

Existen conexiones inalámbricas ópticas como los rayos infrarrojos, su velocidad de transmisión es alta, pero su desventaja es la distancia de transmisión y recepción, la cual tiene que ser clara y directa, ya que sólo funciona a distancias muy cortas, menores a 1 metro.

Por este motivo se desarrolló la tecnología *Bluetooth*, la cual es capaz de comunicar hasta 10 metros de distancia a una velocidad de 721kbps, y una vez que los dispositivos están conectados pueden estar en movimiento sin ningún problema.

La tecnología *Bluetooth* usa radio frecuencia con un ancho de banda de 2,4GHz, el cual no requiere licencia para funcionar. Se implementa en un circuito integrado, como parte de un módulo, para conseguir baja potencia y evitar el gasto de batería. Puede usarse para comunicar dispositivos entre sí o para crear redes inalámbricas, es de bajo costo y formato pequeño.

Su espectro de frecuencia se puede expandir y tiene 2 modos de trabajo: el primero, en modo maestro, cuyo reloj y secuencia de saltos se utiliza para sincronizar a todos los demás dispositivos; y el modo esclavo, en el cual se sincronizan su reloj y saltos con los del dispositivo maestro.

Puede transmitir por serie o paralelo, el primero transmite secuencialmente unos y ceros y el segundo necesita un canal para cada bit. La transmisión en serie puede ser asíncrona o síncrona. En síncrona no se pierden datos, pero la asíncrona tiene bits de cabecera y uno de terminación o llamado bit de paridad⁵.

⁴ DÍAZ CORCOBADO, Tomás y CARMONA RUBIO, Guadalupe. Rectificadores y filtros. En: Electrónica aplicada. 1 ed. España: McGRAW-HILL, 2010. p. 144-152. ISBN 844-81-7162-4.

⁵ MULLER, Nathan J. Por qué es necesario Bluetooth y Conceptos básicos. En: Tecnología Bluetooth. Madrid: McGRAW-HILL, 2002. p. 1- 47. ISBN 84-481-3593-8.

- *Estadísticas de rendimiento deportivo para ciclistas*

Para un deportista el rendimiento consiste en los logros alcanzados, obtenidos por un máximo desempeño. Por lo tanto un deportista busca potenciar y aprovechar al máximo sus capacidades, esto requiere de entrenamiento y rutinas para perfeccionar su condición atlética y su técnica^{6 7}.

Por lo tanto se debe evaluar cada una de las condiciones del deportista como lo son: velocidad, resistencia, potencia, fuerza, flexibilidad entre otras. Las estadísticas de cada uno de estos parámetros se hallan comparando los datos pasados con los actuales y teniendo en cuenta otros resultados esperados.

- *Programación para Android*

Existen varios sistemas operativos para teléfono inteligente como los son *iOS*, *Windows Phone* o *BlackBerry*. En los últimos años *Android* ha sido el que mayor acogida ha tenido en el mercado. Es un sistema operativo móvil basado en una versión modificada de *Linux*. Fue comprado por *Google* para que fuera un *software* abierto y libre, y publicó una parte de su propiedad intelectual como código abierto bajo licencia apache.

La arquitectura del sistema operativo *Android* está compuesta por 5 secciones: *Linux Kernel*, que contiene los *drivers* de bajo nivel del dispositivo; librerías, que contienen el código que provee las principales características del sistema operativo; *Android Runtime*, que provee librerías de núcleo que permite escribir en lenguaje de programación *java*, incluye la máquina virtual *Dalvik* que permite a todas las aplicaciones correr en su propio proceso; la aplicación *Framework*, que expone las capacidades del sistema operativo que pueden ser usadas por los desarrolladores en sus aplicaciones y finalmente las aplicaciones, que son las descargadas e instaladas en el dispositivo⁸.

1.4.4 Estado del arte

- *Energía*

Como es bien sabido por la mayoría de la población mundial, el cambio climático obliga a buscar alternativas que suplan las necesidades humanas, pero de una manera que no dañe ni afecte el medio ambiente. En este aspecto Colombia no

⁶ Alto rendimiento. Curso de preparación física de ciclismo. Alto rendimiento, ciencia deportiva, entrenamiento y fitness [en línea], 1 de Junio del 2015. Disponible en Internet: <<http://altorendimiento.com/curso/curso-preparacion-fisica-ciclismo/>>

⁷ Definicion.de. Definición de rendimiento deportivo. Definición de [en línea], 1 de Junio del 2015. Disponible en: <<http://definicion.de/rendimiento-deportivo/>>

⁸ LEE, Wei-Meng. Getting started with android programming. En: Beginning Android 4 Application Development. 1 ed. Indianapolis: Jhon Wiley & sons, 2012. p. 2-4. ISBN 978-1-118-19954-1.

es indiferente, de hecho quiere dirigirse y enfocarse hacia las energías renovables⁹.

Las energías renovables son el futuro para la generación de energía y debido a que hay muchas de ellas, el ideal es sumar su potencial para aprovecharlas al máximo.

Las más conocidas son la solar y la eólica, pero existen muchas otras formas de generar energía, como por ejemplo desde el movimiento del mismo cuerpo humano¹⁰, y su calor corporal^{11 12}. También se puede obtener energía de las vibraciones de la bicicleta¹³ con piezoeléctricos puestos sobre la misma¹⁴ o dentro de los zapatos para que al caminar se genere energía¹⁵. Así mismo, se puede obtener energía del medio ambiente y de su radiación, de la respiración, de la presión sanguínea, de teclear en un computador, del balanceo de la mano por el propio movimiento del brazo y de muchas otras maneras¹⁶.

Existen dispositivos para generar energía a partir del movimiento de la bicicleta, los más famosos son la dínamo y el alternador, los cuales convierten la energía mecánica en energía eléctrica por medio del principio de inducción electromagnética de Faraday¹⁷, pero ya que estos dispositivos deben permanecer en contacto con la rueda de la bicicleta, generan un incremento en la fricción por lo que requiere de un mayor esfuerzo físico para el ciclista. Sin embargo se han buscado nuevas alternativas creando una dínamo que no necesite de la fricción para generar la energía sino con imanes puestos en la

⁹ Colombia se quiere poner al día en la agenda de las energías renovables [Anónimo]. Dinero [En línea], 8 de Junio de 2015. Disponible en Internet:

<<http://www.dinero.com/pais/articulo/avances-colombia-hacia-energias-renovables/208689>>

¹⁰ MÜLLER, Jörg y GIRÓ MARTÍ, Xavier. El futuro de la conectividad: La Bicicleta, Wireless y otros Dispositivos Móviles. En: Kikirikí: cooperación educativa. Diciembre-Mayo, 2004-2005. No.75-76, p. 69-74.

¹¹ MATEU SÁEZ, M. Loreto. Energy Harvesting form Passive Human Power. Tesis de Maestría. Ingeniería Electrónica. 2004. 40 p.

¹² Pedalite international Ltda. Energy Harvesting and Energy Re-Use, Pedalite International [en línea]. 8 de Junio de 2015. Disponible en Internet:

<<http://www.pedalite.com/assets/Energyharvestingreuse.pdf> >

¹³ YOONSEOK, Yang; JEONGJIN, Yeo y SHASHANK, Priya. Harvesting energy from the Counterbalancing (Weaving) Movement in Bicycle Riding. En: Sensors (Suiza). Diciembre, 2012. Vol. 12, no. 8, p. 10248-10258.

¹⁴ MINAZARA, Ericka; VASIC, Dejan y COSTA, François. Piezoelectric Generator Harvesting Bike Vibrations Energy to Supply Portable Devices. En: Conferencia Internacional Renewable Energies and Power Quality.

¹⁵ FAIN, R.M; HOPCROFT, M.A. y WRIGHT, P.K. Development of a Microscale Energy Harvesting System for Portable Device Recharging: A Laptop Case Model. En: System. Diciembre, 2009. p. 423-426.

¹⁶ STARNER, Thad y PARADISO, Joseph A. Human Generated Power for Mobile Electronics. En: Low-Power Electronics. Diciembre, 2004. p. 1-30.

¹⁷ Fundación Terra. Energía de propulsión humana en bicicleta, Terra ecología práctica [En línea], 8 de Junio de 2015. Disponible en Internet:

<<http://www.terra.org/categorias/articulos/energia-de-propulsion-humana-en-bicicleta>>

llanta y una bobina puesta en el marco, lo que en realidad sería una dínamo pero dispuesto de una manera más eficiente^{18 19}.

Conocer las ventajas que la dínamo ofrece como generador de energía ha permitido crear aplicaciones para su uso como ponerlos en las máquinas de los gimnasios, ya sea en las bicicletas estáticas o en las máquinas elípticas, que generen un movimiento rotacional, el cual será transmitido a la dínamo, transformando esa energía en electricidad que puede ser aprovechada dentro del mismo gimnasio o puede ser almacenada para su posterior uso^{20 21 22 23}.

Otra de las ideas que surgieron fue la de usar la dínamo pero no en un ambiente cerrado, sino en uno abierto, ponerlo en una bicicleta para generar energía y usarla en su propio beneficio como por ejemplo para cargar dispositivos móviles^{24 25} o simplemente alimentar una pila de *LEDs* para que iluminen el camino en las noches²⁶.

- *Dispositivos electrónicos y/o mecánicos*

Existen aplicaciones móviles orientadas al uso deportivo, pero hay retos en la duración de batería, la cobertura y la robustez. Por tal motivo, De Araoz y Miñaur²⁷ han diseñado un sistema de bajo consumo y costo para mejorar el entrenamiento deportivo en una bicicleta, usando sensores, un microcontrolador,

¹⁸ CARMONA ZERECERO, Abraham; ORTEGA CALZADA, Andrés y SÁNCHEZ VIOLANTE, Abraham. Trabajo de Grado Ingeniería Mecatrónica. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería, 2012. p. 170.

¹⁹ FERATI, Pajtim, et al. Power 2 π - Mobile Bicycle Generator. Trabajo de Grado. Nueva Jersey: Universidad de Rutgers. Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Electrónica y Computación. p. 45.

²⁰ D'AGOSTINO, Alexis José Félix. Diseño de Producto: Generación de Energía Eléctrica a Partir de Bicicletas Fijas Indoor. Trabajo de Grado. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, 2014. p. 105

²¹ SANJAY, Samuel David. Harvesting Electrical Energy from a Stationary Bike: An Experimental Approach. Tesis de Maestría. Nueva Zelanda: Universidad de Massey. Escuela de Ingeniería y Tecnología Avanzada, 2014. p. 163

²² NÚÑES RODRÍGUEZ, Carlos Fabián Y FLÓREZ REYES, Julián Oswaldo. Diseño de un Sistema de Generación de Energía eléctrica a partir de Bicicletas Estáticas. Trabajo de Grado Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y de Telecomunicaciones, 2011. p. 77.

²³ DIAMOND, Monroe y VUONG, Brian. Energy Harvesting from Exercise Machines: Bike Buck-Boost Converter. Trabajo de Grado. San Luis Obispo: Universidad Politécnica Estatal de California. Departamento de Ingeniería Eléctrica, 2010. p. 40.

²⁴ Bush&Müller. USB-Werk. B+M Bush+Müller [En línea], 8 de Junio de 2015. Disponible en Internet: <<http://www.bumm.de/produkte/e-werk-usb-werk.html>>

²⁵ QUICK, Darren. Nokia's Bicycle Charger Kit a Stroke of Genius. gizmag [En línea], 6 de Junio de 2015. Disponible en Internet: <<http://www.gizmag.com/nokia-bicycle-charger-kit/15312/>>

²⁶ HUI, Michael. Energy Harvesting Bicycle. Trabajo de Grado Licenciatura en Ciencias. San Luis Obispo: California Polytechnic State University. Electrical Engineering Department, 2011. p. 18.

²⁷ FERNÁNDEZ DE ARAOZ GARCÍA Y MIÑAUR, Iñigo. Desarrollo de un Prototipo de Ordenador para una Bicicleta de Montaña. Universidad Pontificia Comillas, Escuela Superior de Ingeniería (ICAI). 10 p.

una pantalla LCD y una tarjeta de memoria con el propósito de tener exclusividad y una mayor precisión.

Además de obtener información acerca del desempeño de un atleta en un entrenamiento, también está la posibilidad de conocer acerca del ambiente. Por tanto usando un teléfono celular, sensores y la conexión a puntos de acceso a internet almacenan datos en tiempo real y por medio de un portal web es posible acceder a la información recolectada y compartir datos relacionados con el ciclismo o con el entorno²⁸.

Para conocer ciertas variables medibles de la actividad física de un deportista en tiempo real o tener un registro periódico de sus marcas puede ser adaptado a una bicicleta un sistema de comunicación inalámbrico similar al usado para medir algunas variables en tiempo real sobre los dispositivos internos y sensores colocados en un carro de competencia (Mazda 323). Obtienen datos telemétricos sobre el vehículo y los transfieren inalámbricamente a una estación central de monitoreo solucionando de manera rápida y efectiva los problemas de desempeño del auto²⁹.

Hay un problema actual de transporte y contaminación del medio ambiente. Por eso se han creado formas de generación de energía y almacenamiento, para su posterior aprovechamiento. La alternativa de transporte planteada es una bicicleta híbrida que aprovecha su energía producida, debido a que en la actualidad los medios de transporte desperdician una gran cantidad de energía. La idea de bicicleta híbrida viene del concepto de fusionar dos maneras de aprovechamiento de energía, usando un volante de inercia y usando un motor eléctrico que aprovecha, almacena y distribuye de manera eficiente la energía producida por la bicicleta³⁰.

- *Aplicaciones móviles*

Aprovechando la realización de un ejercicio físico, sea atletismo, ciclismo o una caminata Patiño³¹ ha diseñado una aplicación móvil en el sistema operativo Android, que muestra la distancia recorrida, tiempo y calorías quemadas. Esta funciona por GPS y mediante cálculos matemáticos proporciona estadísticas relacionadas con el desempeño físico de un atleta.

²⁸ EISENMAN, Shane, et al. BikeNet: A mobile Sensing System for Cyclist Experience Mapping. *En: ACM Transactions on Sensor Networks*. Diciembre, 2009. vol. 6, no 1. 39 p.

²⁹ TAPIA BERRONES, Víctor Hugo. Diseño e Implementación de un Sistema de Transferencia de Datos por Telemetría para un Vehículo de Competencia con el Uso de la Tecnología Inalámbrica Bluetooth. Trabajo de grado Electrónica Telecomunicaciones y Redes. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimbonazo. Facultad de Informática y Telecomunicaciones, Escuela de Ingeniería Electrónica Telecomunicaciones y Redes. 2013. 154 p.

³⁰ OLARTE BENVAIDES, Santiago Enrique. Diseño y Construcción de un Sistema Híbrido para una Bicicleta de Montaña. Trabajo de grado Ingeniería Mecánica. Quito: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2013. 297 p.

³¹ PATIÑO DIAZ-ALEJO, Ángel. Aplicación Móvil en Android para la Gestión de Entrenos de Deportistas. Trabajo de Grado Ingeniería en Informática. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, 2013. 93 p.

Para medir el rendimiento atlético de un ciclista González y compañía han desarrollado un prototipo portátil que mide mediante sensores el pulso cardíaco, la velocidad, la cadencia, la temperatura y la humedad durante el entrenamiento. Un microprocesador obtiene estos datos y despliega la información en tiempo real a una pantalla LCD al mismo tiempo que los almacena en una memoria. Después de terminar el recorrido se conecta el prototipo a una computadora para graficar la información obtenida y obtener una interpretación o análisis posterior al entrenamiento³².

- *Análisis y estadísticas*

Planteado un plan de entrenamiento tanto para ciclistas de alto rendimiento, como para personas que van al gimnasio unos días a la semana e investigando cuáles son las consecuencias, el impacto y las repercusiones que tienen las personas al hacer ejercicio en una bicicleta estática, Ríos³³ propone criterios al momento de generar estadísticas sobre el rendimiento de un ciclista como fuerza, cadencia, velocidad y potencia.

Buscando vincular a las personas con la actividad física, solucionar algunos de los problemas de salud pública y mejorar el estilo de vida de las personas, Castanheira³⁴ encuentra la manera de almacenar la energía producida por un actividad física realizada, proporcionando gran cantidad de información acerca de los problemas de salud pública, como criterios estadísticos útiles para el usuario como potencia, fuerza, energía, además del aprovechamiento que hacen de la energía producida.

La movilidad es un tema de gran importancia hoy en día y está asociada a problemáticas que inciden en la actual crisis ambiental, es por eso que algunas ciudades a nivel mundial han desarrollado propuestas para mejorar las condiciones para peatones y ciclistas, implantando sistemas de movilidad sostenibles, con sistemas de bicicleta pública y bicicletas inteligentes, por consiguiente es posible ver la evolución y aceptación que han venido teniendo los sistemas de movilidad sostenibles a nivel local como mundial³⁵.

³² GONZÁLEZ GARZA, Rodolfo, *et al.* Monitoreo de variables en el desempeño deportivo del ciclista. En: II Congreso latinoamericano de ingeniería biomédica. (23-25, Mayo, 2001: La Habana).

³³ RÍOS ZORRILLA, Marco Antonio. Análisis Desarrollo y Evaluación de un Plan de Entrenamiento sobre Bicicletas Estáticas. Tesis de Maestría Educación Corporal. La Plata: Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, 2013. 145 p.

³⁴ CASTANHEIRA SANTOS, Luis Filipe. Energym. Actividade física e eficiência energética. Tesis de Maestría Diseño de Producto. Lisboa: Universidad Técnica de Lisboa. Facultad de Arquitectura, 2011. 268 p.

³⁵ ACERO MORA, Jesús David. Los sistemas de Bicicletas Vistos desde la Relación Servicio-Producto. Tesis de Maestría Medio Ambiente y Desarrollo. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Económicas, 2011. 92 p.

1.5 Metodología

Primero, se estudió la señal producida por la dínamo para poder saber de qué manera procesar la señal y obtener una salida de voltaje DC constante que alimente el sistema electrónico (Microcontrolador, *Bluetooth* y sensores).

Segundo, se diseñó un circuito con sensores para realizar las mediciones de las variables físicas, necesarias en los cálculos de los parámetros deportivos.

Tercero, se estableció una conexión inalámbrica por medio de la tecnología *Bluetooth*, que permite transmitir los datos registrados por los sensores a un dispositivo móvil (teléfono inteligente).

Cuarto, se llevó a cabo un estudio para encontrar las variables de rendimiento deportivo más importantes y su fórmula, para poder calcularlas con los datos obtenidos de los sensores. A su vez, también se estudió la emisión de agentes contaminantes al medio ambiente por parte de medios de transporte que usan derivados del petróleo para su funcionamiento; al igual que la reducción de estas emisiones por usar medios alternativos, como la bicicleta.

Quinto, se diseñó una aplicación para el sistema operativo *Android* a través de la plataforma virtual *App Inventor 2*, la cual es capaz de recibir los datos registrados por los sensores, almacenarlos y procesarlos, para mostrar información en tiempo real y en estadísticas. Para poder realizar estos cálculos se usaron las fórmulas encontradas anteriormente en el estudio de relación de variables de rendimiento y emisión de contaminantes al medio ambiente. Se realizó un diagrama de entidad-relación, el cual muestra el funcionamiento básico de la aplicación.

Sexto, se realizaron pruebas con el sistema y la aplicación en conjunto, comparándolas con otras aplicaciones similares pero que funcionan mediante *GPS*, teniendo así, una base para la estimación de resultados.

1.6 Recursos

A continuación se presenta la tabla de recursos utilizados en la construcción del sistema.

Tabla 1. Recursos

Cantidad	Materiales	Precio (\$)
1	Dínamo	25.000
1	Microcontrolador PIC16F628A	6.000
1	Módulo Bluetooth HC-05	15.000
-	Elementos electrónicos varios	20.000
2	Sensor efecto <i>Hall</i>	5.000
2	Imán de Nd-Cd	7.000
1	Baquela	20.000
-	Acrílico	14.000
1	<i>Buck</i> LM2576T	3.500
1	<i>Buck-Boost</i> LM2596-LM2577	23.000
1	Amplificador operacional LM324	1.000
1	Inductancia 100 μ H	3.000
1	Condensador 2200 μ F-100 V	4.000
1	Batería Pb - 6 V	12.000
	Total	158.500

Todos los recursos fueron aportados por los estudiantes.

CAPÍTULO 2.

SISTEMA DE GENERACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA

En este capítulo se describe el procesamiento de la señal generada por una dínamo, usada como fuente de energía del sistema.

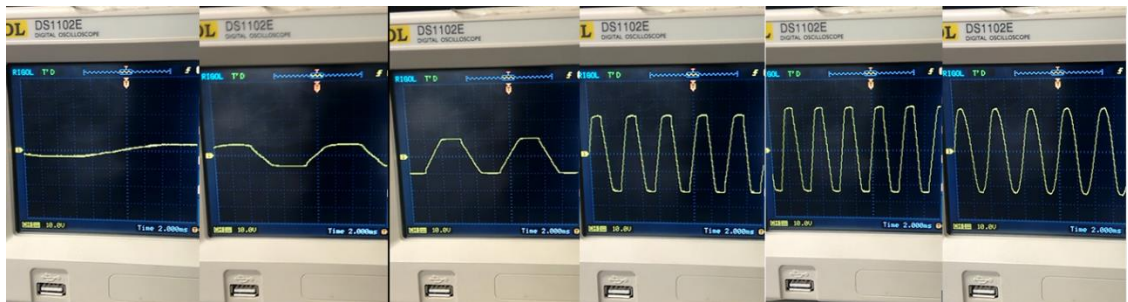
La dínamo genera corriente alterna y debe alimentar los dispositivos electrónicos, que funcionan con corriente continua a un voltaje constante. En consecuencia, es necesario hacer una transformación de esta energía, como se explica a continuación.

2.1 Señal de la dínamo

A continuación, en la Figura 2 se muestra una secuencia de imágenes que muestra las señales tomadas por un osciloscopio conectado a la salida de la dínamo, que varían en frecuencia y amplitud según la velocidad del eje de la dínamo, que puesta sobre una rueda, dependerá de la velocidad que esta tenga.

Se puede observar que a mayor velocidad la forma de la onda sinusoidal es más clara y su amplitud también aumenta, por lo que a mayor velocidad, tanto la frecuencia como el voltaje aumentan, como se puede apreciar en la Tabla 2.

Figura 2. Señal de salida de la dínamo a diferentes velocidades



Los datos mostrados en la siguiente tabla fueron obtenidos a partir de la Figura 2:

Tabla 2. Relación Voltaje-frecuencia a la salida de la dínamo

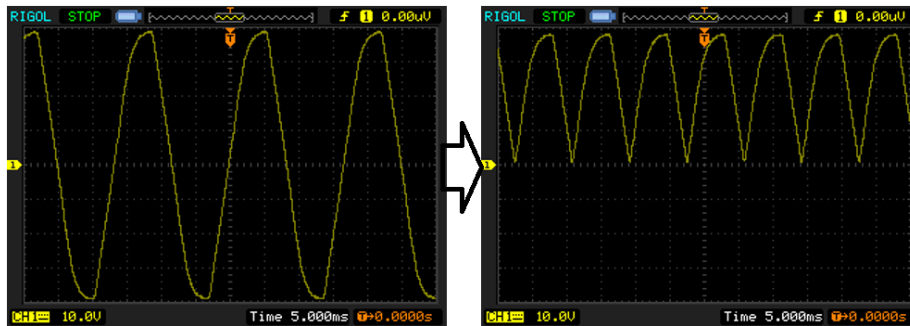
Voltaje pico (V)	4	6	10	22	25	24
Frecuencia (Hz)	38	90	111	250	278	250
Velocidad (km/h)	4	6	10	22	25	24

2.2 Rectificación de la señal de la dínamo

La dínamo genera corriente alterna y un voltaje variable, mientras que los dispositivos electrónicos funcionan con corriente continua y voltaje estable; por tanto se hace necesario rectificar la corriente y regular el voltaje para alimentar los dispositivos electrónicos.

El primer paso es la rectificación de la corriente. Esto se realiza mediante un puente rectificador, el cual consiste en un arreglo de 4 diodos que permite el flujo de corriente en un solo sentido (Figura 4), pero, en este punto el voltaje sigue siendo variante en el semiciclo positivo, como se observa en la Figura 3.

Figura 3. Rectificación a través del puente de diodos



Para filtrar la señal se recurre a un condensador, en una configuración de filtro paso bajo. Un condensador muy grande tiene un tiempo de descarga mayor, por consiguiente el rizado que genera es mínimo y produce una señal de voltaje estable ((1))³⁶, por tal razón se eligió un capacitor de 2200 μF a 100 V.

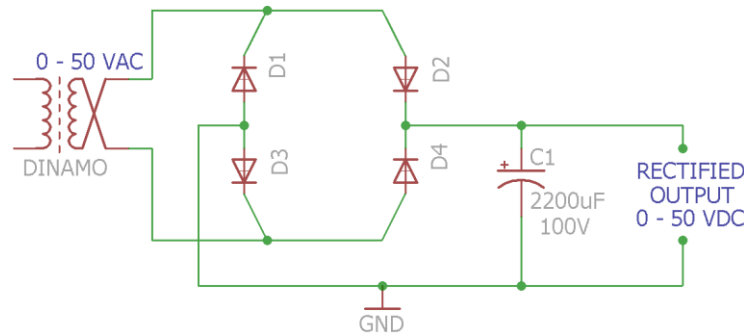
$$V_r = \frac{I}{f * C} \quad (1)$$

Donde: V_r = Voltaje rizado(V), I = Intensidad de la corriente(A),
 f = frecuencia de rizado(Hz)= y C = Capacitancia del condensador(F)

Teniendo una entrada de corriente alterna y voltaje variable (AC), que puede variar entre 0 y 50 voltios, debido a que esta entrada está limitada por las características técnicas del regulador *Buck*, La señal de salida del circuito que se muestra en la Figura 4, es una de corriente continua y un voltaje variable (DC).

³⁶ CARMONA, Guadalupe y Díaz, Tomás. Rectificadores y filtros. En: Electrónica aplicada. 1 ed. Malaga: Interamericana de España, 2010. p. 153. ISBN. 9788448171629.

Figura 4. Puente rectificador con filtro paso bajo



2.3 Batería

Se realizó la Tabla 3³⁷, donde se puede observar la comparación entre diferentes baterías recargables y sus principales características.

Tabla 3. Comparación baterías

Batería recargable	Densidad de energía (Wh/kg)	Voltaje constante de carga	Corriente constante de carga	Admite sobrecarga	Efecto memoria	Ciclos
Plomo-Ácido	30-40	Sí	No	Sí	No	500-800
Niquel-Cadmio (NiCd)	40-60	No	Sí	No	Sí	1500
Niquel e hidruro metálico (NiMH)	30-80	Sí	Sí	No	Sí	1000
Ión de Litio	160	Sí	Sí	No	No	1200
Polímeros de Litio	130-200	Sí	Sí	No	No	500-1000

Se eligió una batería de plomo que entrega 6 V, debido a que los circuitos electrónicos tienen un rango de funcionamiento cercano a los 5 V y se debe tener en cuenta la descarga de la batería, consecuentemente, esta debe entregar más de 5 V.

Una característica importante de esta batería es que se carga con un voltaje estable de 7.2 V y no con un valor fijo de corriente. Su velocidad de carga varía con la cantidad de corriente que se le suministre.

A pesar de su peso y tamaño, su tiempo de descarga es bastante lento, por lo cual la hace una candidata ideal para esta tarea.

³⁷ WIKIPEDIA. Batería recargable. Disponible En:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_recargable>

2.4 Regulador de voltaje para alimentar la batería

Es necesario regular el voltaje, ya que la salida de la rectificación es variable (sección 2.2) y debe ser constante para poder cargar la batería. Los reguladores comerciales como el LM78xx limitan demasiado la corriente, debido a que disipan la mayor parte del voltaje en forma de calor.

Además se requiere alimentar una batería de 6 V, la cual se carga a 7.2 V y los reguladores comerciales no regulan a este voltaje ya que pasan de 5 V a 9 V, por lo tanto es necesario elegir un regulador ajustable que permita el paso de corriente como el LM2576T(Buck).

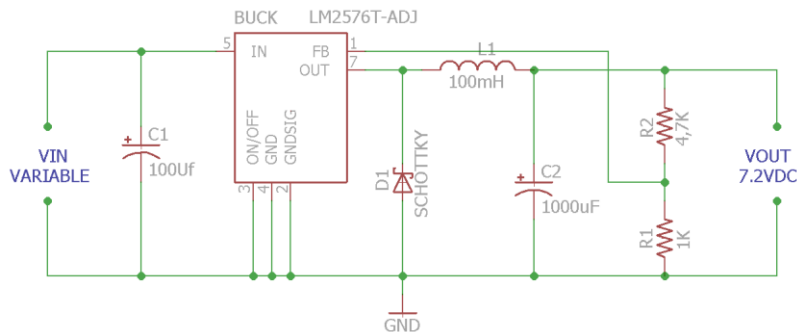
Según el arreglo de las resistencias R1 y R2 (Figura 5) se ajusta el voltaje de salida, el cual está dado por la siguiente fórmula³⁸.

$$V_{out} = 1.23 \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) \quad (2)$$

$$7.2 = 1.23 \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) \rightarrow 5.8 \cong \left(1 + \frac{R2}{R1} \right) \rightarrow \frac{R2}{R1} \cong 4.8 \rightarrow R2 \cong 4.8 R1$$

Como no existen resistencias comerciales de 4,8 kΩ se escogió la más cercana que es de 4,7 kΩ. Dando como resultado los valores para las resistencias correspondientes a: R1 = 1 kΩ y R2 = 4,7 kΩ.

Figura 5. Circuito Buck regulador de 7.2 V



La salida del regulador *Buck* es la entrada a la batería y la salida de la batería es la entrada a un regulador *Buck-Boost* ajustable a 5 V.

2.5 Regulador *Buck-Boost* Ajustable a 5V para alimentar el circuito

Debido a que la batería entrega 6 V como máximo y los reguladores típicos de 5 V tales como el LM7805 funcionan a un mínimo de 7 V, para esta tarea no es apropiado usarlos ya que no funcionarían correctamente.

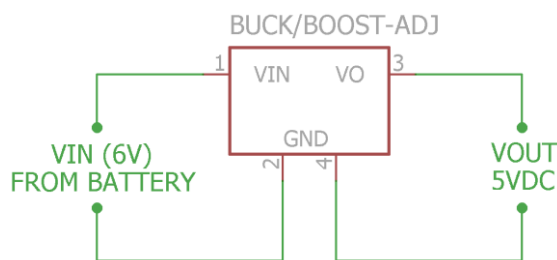
³⁸ MICREL, *The infinite Bandwidth Company*. Datasheet LM2576 52KHz, Simple 3A Buck regulator, final information. p. 1.

Se eligió este regulador (*Buck-Boost*) mostrado en la Figura 6, por sus múltiples beneficios: proporciona estabilidad en el voltaje de salida, ya que este es un punto crucial cuando se trabaja con sensores y microcontroladores; funciona reduciendo el voltaje de entrada al valor ajustado, en este caso de 5 V, y cuando el voltaje de entrada se encuentra por encima de 3 V eleva el voltaje al valor ajustado (5 V).

Se debe tener en cuenta que la dínamo debe proporcionar un voltaje entre los rangos de funcionamiento del regulador *Buck-Boost* (3 V - 50 V), por lo tanto es importante conocer la velocidad del eje de la dínamo, que es dependiente de la velocidad de la rueda, esto se mencionará más adelante (sección 2.7).

Conociendo que la batería suministra 6V y el regulador *Buck-Boost* funciona con mínimo 3 voltios, en la batería se tendría un rango de descarga de aproximadamente 3 V para que el dispositivo electrónico siga alimentado, no obstante, la batería será cargada constantemente por la dínamo.

Figura 6. Regulador Buck-Boost de voltaje a 5V

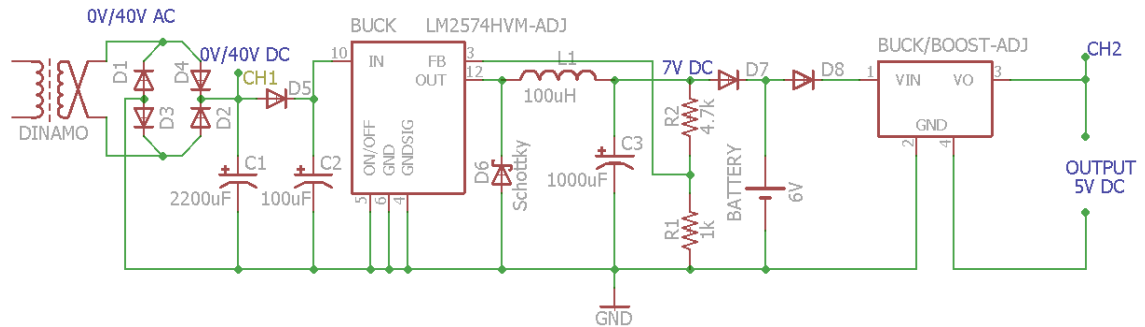


2.6 Circuito completo

La energía producida por la dínamo se rectifica y regula a 7.2 V para poder ser almacenada de manera correcta a la batería. Seguido a esto, se realiza una nueva regulación a 5 V para alimentar los componentes electrónicos del sistema.

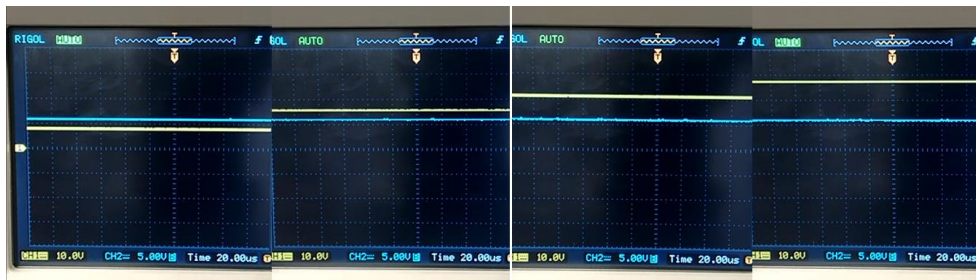
Cada etapa del circuito mencionada anteriormente se acopla mediante un diodo, como se muestra en la Figura 7, con el fin de evitar el retorno de la corriente y cualquier fallo posible.

Figura 7. Circuito de aprovechamiento completo con almacenamiento de energía en la batería y salida de 5 V para alimentar dispositivos electrónicos



Como se puede ver en la Figura 7, se conectó el canal 1 (amarillo) de un osciloscopio a la entrada del circuito luego de ser regulada y filtrada; el canal 2 (azúl) a la salida del regulador *Buck-Boost*. Esto con el fin de realizar una comparación de los voltajes en estos 2 puntos, se puede observar en la Figura 8 que el voltaje de salida es de 5 V constante y estable, mientras que el valor de voltaje en la entrada varía.

Figura 8. Medición y comparación entre señal de entrada y salida del circuito completo



2.7 Pruebas y caracterización de la dínamo (Voltaje vs Velocidad)

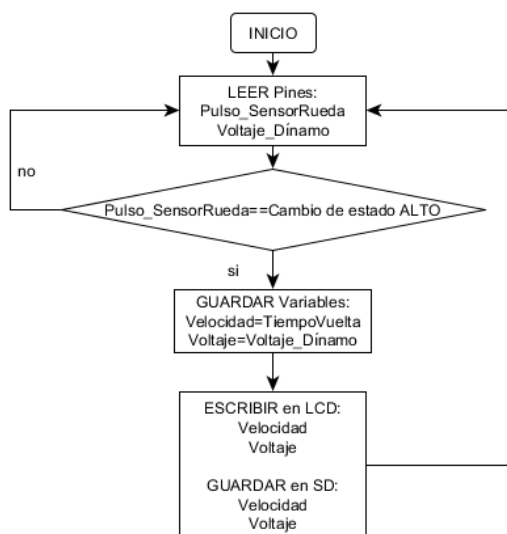
Para caracterizar la dínamo, se realizaron pruebas en las cuales se tomaron medidas a través de un circuito con *Arduino*³⁹. La intención de las pruebas es relacionar el voltaje producido por la dínamo y la velocidad de la bicicleta.

La dínamo debe suministrar la energía suficiente para poder ser aprovechada por el sistema, sin superar los límites de los dispositivos de regulación. Para realizar las pruebas, se utilizó el circuito mostrado en la Figura 9, que permite almacenar los datos en una SD y mostrar estos valores en una pantalla LCD.

³⁹ ARDUINO. [en línea]. < <https://www.arduino.cc/> > [consultado el 02 de junio de 2016].

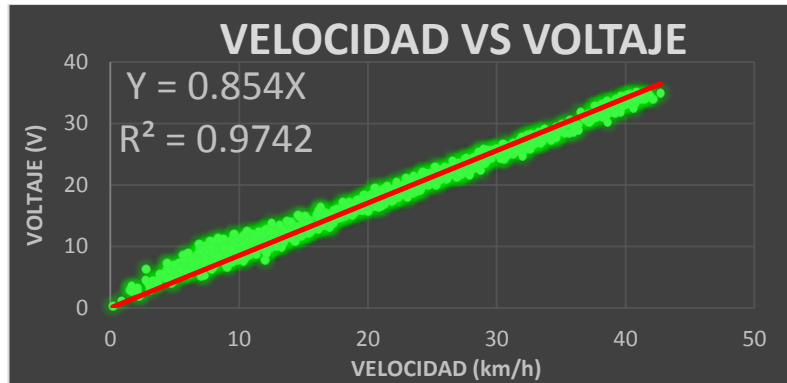
El tiempo registrado entre los pulsos, permite calcular la velocidad ya que se conoce el diámetro de la rueda; en ese mismo instante se obtiene el valor de voltaje entregado por la dínamo, para que ambos sean almacenados en la memoria.

Figura 10. Diagrama de flujo programación Arduino primera prueba



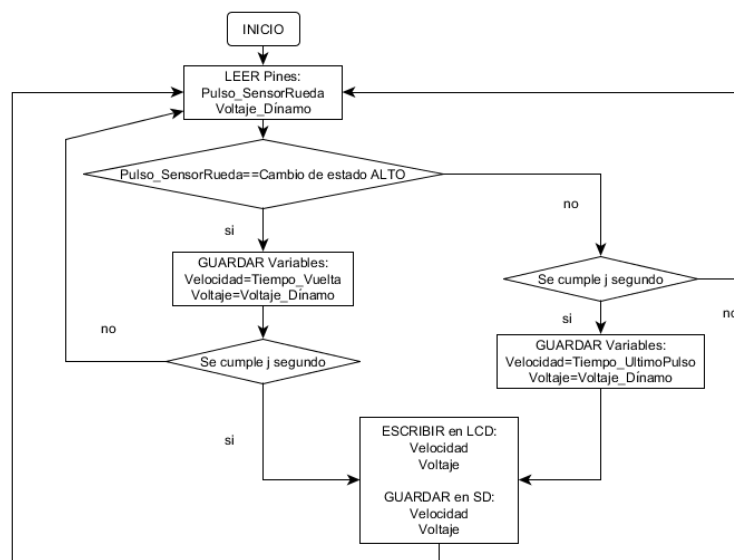
Teniendo los datos almacenados en la memoria SD, se calcularon los valores de velocidad y voltaje. Se realizó el diagrama de dispersión para estos valores con la recta de regresión lineal⁴⁰ mostrado en la Figura 11 donde se relacionan la velocidad de la bicicleta y el voltaje en la dínamo a dicha velocidad.

Figura 11. Primera prueba



En una segunda prueba también se midió el voltaje de la dínamo y la velocidad de la bicicleta, pero en este caso la medición se realizó periódicamente, en un lapso de 1 segundo. El diagrama de flujo de la programación para esta prueba es el siguiente.

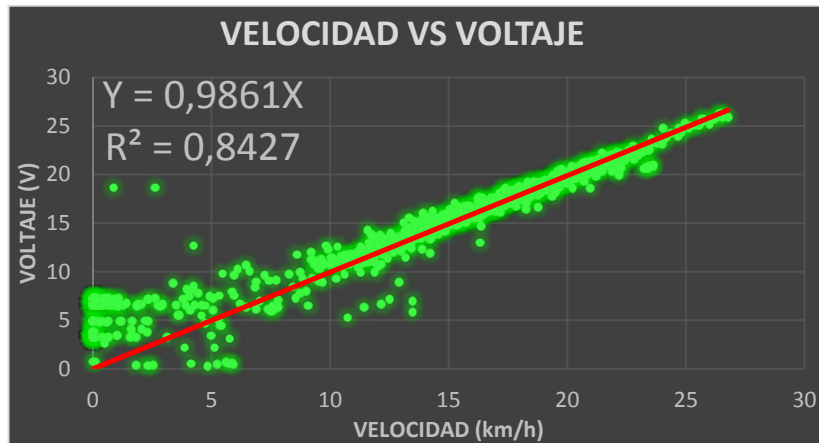
Figura 12. Diagrama de flujo Arduino segunda prueba



⁴⁰ WALPOLE, Ronald, *et al.* Regresión lineal simple y correlación. En: Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. 8 ed. Naucalpan de Juárez: Prentice-Hall Hispanoamericana, 2007. p. 389-409. ISBN 970-26-0936-4.

Teniendo los datos de velocidad y voltaje se realizó el diagrama de dispersión con su recta de regresión lineal, el cual se muestra en la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**, donde se relacionan ambas variables.

Figura 13. Segunda prueba



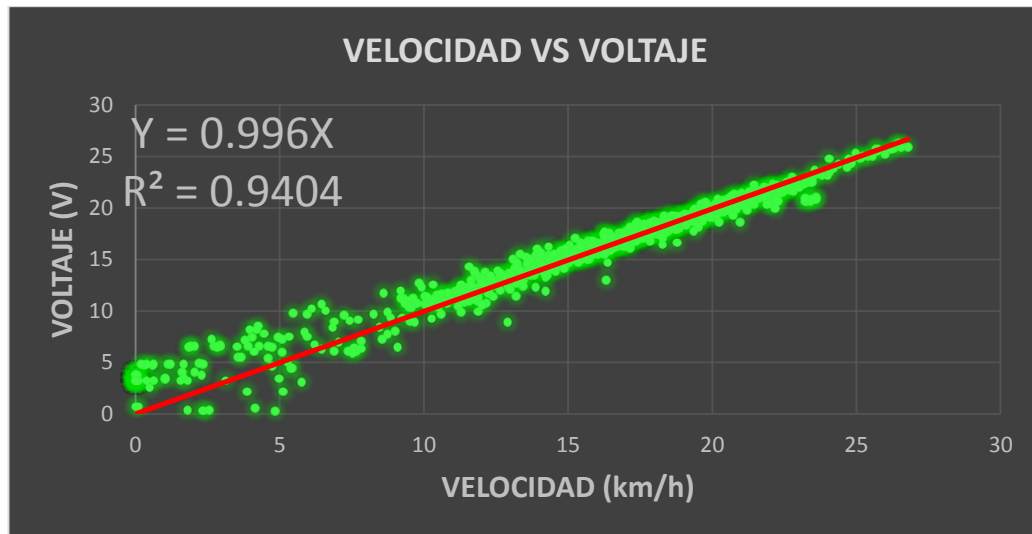
Como se puede observar en las gráficas de la Figura 11 y la Teniendo los datos de velocidad y voltaje se realizó el diagrama de dispersión con su recta de regresión lineal, el cual se muestra en la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**, donde se relacionan ambas variables.

Figura 13, la relación que existe entre la velocidad en kilómetros por hora y el voltaje en voltios que la dínamo entrega a dicha velocidad, es lineal. En la primera prueba la relación o pendiente es de 0.84 y en la segunda prueba es de 0.9861, teniendo un coeficiente de determinación (R^2) de 0,9742 y de 0,8427 respectivamente.

Realizando un proceso estadístico para la eliminación de datos atípicos según la regla empírica⁴¹, aplicado a los datos de la segunda prueba, se llegó a la siguiente gráfica.

⁴¹ MENDENHALL, William y SINCICH, Terry. Medidas de variación. En: Probabilidad y estadística. 4 ed. Naucalpan de Juárez: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1997. p. 45-46. ISBN 968-880-960-8.

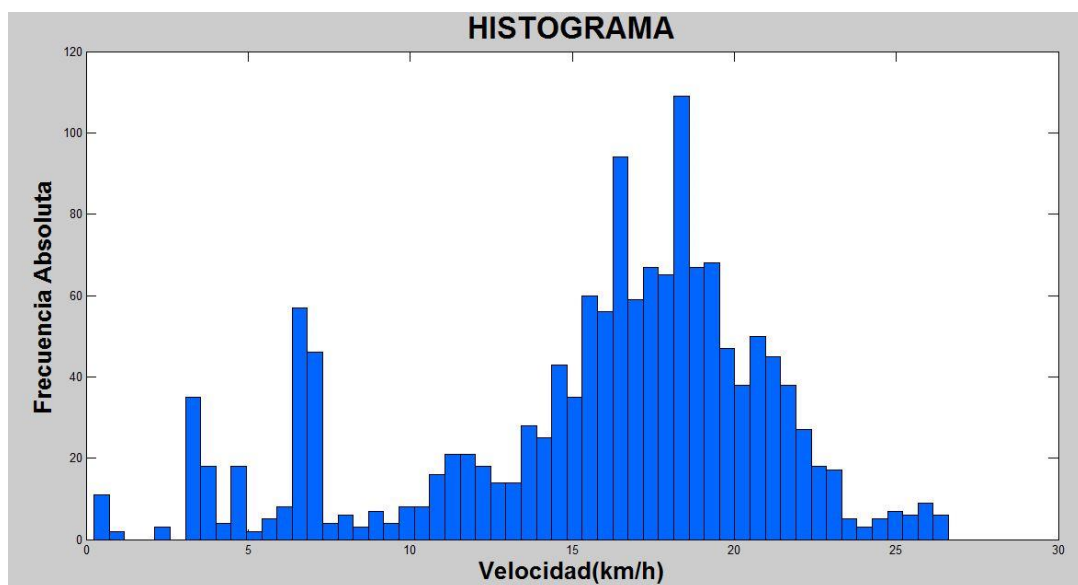
Figura 14. Segunda prueba con tratamiento estadístico



Se puede observar que la relación lineal que existe entre velocidad y voltaje es bastante buena, se observa un incremento de la pendiente después del tratamiento estadístico (0.996) más próximo a 1, tanto de la pendiente como del coeficiente de determinación (0.9404), lo cual comprueba la hipótesis que la relación entre velocidad y voltaje es proporcional, por lo tanto lineal.

Debido a que el tiempo de muestreo de la primera prueba es alternativo, hacer un histograma con estos datos no sería preciso. Por esta razón se tiene en cuenta la segunda prueba, que tiene un tiempo de muestreo constante. En la Figura 15 se muestra el histograma con la frecuencia de las velocidades.

Figura 15. Histograma de velocidad en segunda prueba

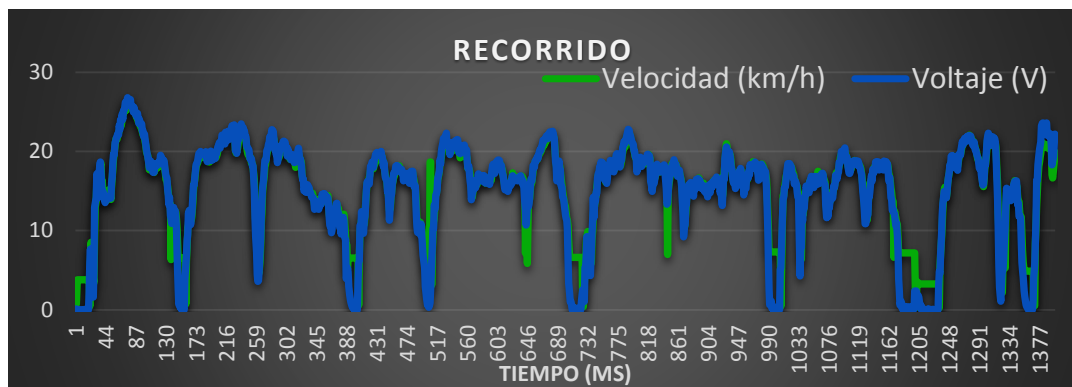


El recorrido de esta prueba fue realizado por dos avenidas principales de la ciudad de Bogotá, la carrera 13 y la carrera 7ª, entre las calles 45 y 11, las cuales tienen bastantes semáforos y el recorrido requiere parar constantemente.

Como se observa en el histograma, las velocidades más frecuentes son 18 km/h y 16 km/h, seguidas por 19 km/h, 17 km/h, 15 km/h, 7 km/h y 8 km/h. Este resultado nos indica que el funcionamiento de la dínamo es apto para alimentar el sistema, ya que es necesario que se supere en promedio, la velocidad de 8 km/h que corresponde a 8 voltios.

A continuación se muestra una gráfica con la velocidad y el voltaje en el tiempo, del mismo recorrido realizado. Se observa que la gráfica de velocidad y voltaje es similar, por lo que se corrobora que la relación es aproximadamente lineal.

Figura 16. Gráfica del recorrido en la segunda prueba



Para saber a qué velocidad se debe ir para alimentar el sistema y cargar la batería, se realizó la Tabla 4 que muestra los voltajes de rizado pico. Empleando la (1), con una frecuencia igual a 2 veces la frecuencia de la dínamo, debido a que el rectificador usado es de onda completa.

Tomando los valores de la Tabla 2 e interpolando para la velocidad con mayor frecuencia del histograma (Figura 15) que es 18 km/h, para la velocidad mínima de carga de solamente el sistema electrónico correspondiente a 7.6 km/h y para la velocidad mínima de carga con la batería de 8.8 km/h, se halla la frecuencia de la dínamo para estos valores de velocidad.

La medición del consumo de corriente en el sistema electrónico es de 144 mA cuando el *Bluetooth* no se ha vinculado a un dispositivo móvil y cuando se vincula es de 118 mA; la batería descargada consume aproximadamente 400 mA.

Para realizar la Tabla 4 se tomaron diferentes valores de corriente del sistema electrónico, el primero, con la batería totalmente cargada (114 mA), por lo que la corriente de consumo sería sólo la del circuito electrónico; el segundo, con la batería a medio cargar (314 mA) y por último, con la batería descargada con un consumo de 514 mA.

Tabla 4. Voltaje de rizado pico, según velocidad (frecuencia) y corriente de consumo

Frecuencia dínamo (Hz)		38	90	98.4	104.7	111	204	250	278
Corriente consumo (A)	Velocidad bicicleta (km/h)	4	6	7.6	8.8	10	18	22	25
0.114	Voltaje Rizado Pico (V)	0.96	0.41	0.37	0.35	0.33	0.18	0.15	0.13
0.314		2.66	1.12	1.03	0.96	0.91	0.50	0.40	0.36
0.514		4.35	1.84	1.68	1.58	1.49	0.81	0.66	0.59

En la Tabla 5 se muestra el voltaje obtenido del filtro paso bajo, en relación con la velocidad de la bicicleta, con el fin de conocer la velocidad mínima que genera un voltaje superior a 7.2 V y suministra la suficiente corriente para alimentar, tanto la batería como el circuito electrónico. Para esto, al voltaje rectificado y filtrado generado por la dínamo, que es proporcional a la velocidad (Figura 14), se le resta el voltaje de rizado, calculado anteriormente (Tabla 4).

Tabla 5. Voltaje regulado a la entrada de la batería, según velocidad (frecuencia) y corriente de consumo

Frecuencia dínamo (Hz)		38	90	98.40	104.7	111	204	250	278
Corriente consumo (A)	Velocidad bicicleta (km/h)	4	6	7.6	8.8	10	18	22	25
0.114	Voltaje Regulado a la Entrada Batería (V)	3.04	5.59	7.20	8.41	9.63	17.75	21.77	24.77
0.314		1.34	4.88	6.54	7.80	9.05	17.43	21.51	24.54
0.514		0.35	4.16	5.89	7.19	8.47	17.12	21.25	24.31

Para cargar la batería se requiere un voltaje de 7.2 V, por lo que el voltaje de la dínamo debe ser igual o mayor a este valor. En la Tabla 5, considerando que la relación de voltaje y velocidad es lineal, $Y=0.996 \cdot X$ (Figura 14), los valores que están en rojo no alcanzan a cargar la batería, mientras los que están en verde sí lo hacen.

Como se observa en el histograma de la Figura 15, la velocidad promedio es de 18 km/h, por lo tanto, cargar la batería con estas características no es un problema, ya que, desde los 8.8km/h la batería se empieza a cargar, con el máximo consumo del sistema y desde aproximadamente 7.6 km/h con el mínimo consumo del sistema.

CAPÍTULO 3. INFORMACIÓN RELEVANTE PARA CICLISTAS

En este capítulo se describirán las variables de rendimiento que son de importancia para un ciclista y que le darán conocimiento sobre su estado físico. Así mismo, también se calculan parámetros que le indican cuál es su aporte al medio ambiente debido al uso de medios alternativos de transporte como la bicicleta.

3.1 Variables de rendimiento y huella ecológica

3.1.1 Variables de rendimiento

Es de señalar la competitividad que existe en el deporte de alto rendimiento y el enorme interés por el mismo. Cada día son más las personas quienes se interesan por esta actividad, que en el fondo no es otra cosa que optimizar y buscar el límite del esfuerzo físico. Por tanto el deportista debe ser capaz de optimizar el gasto energético y realizar la misma actividad con el mínimo esfuerzo, es por este fin que se entrenan con habilidades y técnicas propias en cada deporte⁴².

La tecnología de preparación de los deportistas ha logrado tal complejidad que no es posible una preparación eficaz en la actualidad sin conocer el funcionamiento del individuo en el deporte. Esto hace necesario valorar la preparación funcional en conjunto mediante la apreciación de las principales propiedades fisiológicas generalizadas, sabiendo que el rendimiento puede verse afectado por el carácter específico de la actividad como por las características individuales del deportista⁴³.

Existen varias disciplinas que se interesan en los factores que intervienen en el deporte, como la deportología o la fisiología del deporte. La fisiología del deporte estudia las respuestas y adaptaciones del cuerpo al esfuerzo físico que varían dependiendo de la intensidad, la duración, el esfuerzo, la frecuencia de una actividad física o también la dieta del deportista. Una de las aplicaciones más significativas en este campo se ve en el deporte de competición, puesto que los atletas y entrenadores necesitan basarse en la fisiología del deporte para planificar los entrenamientos encaminados a mejorar el rendimiento⁴⁴.

Para poder mejorar el rendimiento de un ciclista es indispensable conocer los parámetros más relevantes que implementa esta especialidad de las ciencias biológicas.

⁴² SUÁREZ, Luis. La energía humana el esfuerzo físico. En: Ingeniería e Investigación. Junio ,1991. no. 22, p. 20-24.

⁴³ SERGEYEVICH, Victor y DMITRIYEVICH, Vladimir. Introducción. En: Fisiología del deportista. 2 ed. Barcelona: Paidotribo, 2001. p.7 .ISBN 8480192186.

⁴⁴ MCARDLE, William D.; KATCH Frank I. y KATCH, Victor L. Prólogo. En: Fundamentos de fisiología del ejercicio. 2 ed. Madrid: McGRAW-HILL, 2004. ISBN 9788448605988.

Es preciso mencionar que para mejorar la planificación enfocada al acondicionamiento óptimo de los atletas es necesario el conocimiento de la producción y de las demandas de energía en el ser humano, ya sea de atletas o de personas interesadas en mejorar su rendimiento. Para esto, se retoma la definición de energía, trabajo y potencia, componentes fundamentales en la producción de la energía humana.

La energía se describe como la capacidad para realizar trabajo. La fisiología del deporte se interesa primordialmente en la energía mecánica y la energía química. Por ejemplo, las sustancias de los alimentos, en el cuerpo son degradadas mediante reacciones químicas que liberan energía química, para luego ser utilizada por los músculos y poder realizar trabajo mecánico. En pocas palabras, parte de la energía química o potencial representada por los alimentos que ingerimos es convertida en energía mecánica o cinética en los músculos.

Una kilocaloría (kcal) es la unidad que se emplea con mayor frecuencia para la descripción del contenido de energía de los alimentos y los requerimientos energéticos de varias actividades físicas. Como la energía es la capacidad para realizar trabajo, es importante definir qué es el trabajo para comprender el concepto total de energía. El trabajo mecánico es igual al producto de la fuerza que actúa a lo largo de una distancia y la potencia equivale al trabajo realizado por unidad de tiempo o el producto de la fuerza y la velocidad⁴⁵.

Al estudiar el cuerpo humano en términos de productividad se encuentran que al igual que un motor inanimado, el motor orgánico incurre en ciertas pérdidas energéticas cuando ejecuta un trabajo, que dependen del tipo o la intensidad del trabajo que se está realizando, por este motivo se puede hablar de rendimiento o eficiencia⁴⁶.

Las calorías consumidas por hora sobre una bicicleta dependen de factores como el peso del ciclista y la bicicleta, de su velocidad y de si está escalando o no. El deportista consume aproximadamente el triple de calorías por hora en comparación a los vatios que produce⁴⁷. Si nos referimos al cuerpo humano como una maquina orgánica que para producir 1 watt de potencia requiere 3kcal/h que equivaldrían más o menos a 3,489 watt. Teniendo en cuenta pérdidas, ya sean en forma de calor o por el consumo del cuerpo, se obtiene una eficiencia del 28,66% para el cuerpo humano. Además hay que tener presente que el cuerpo humano necesita energía para que el organismo siga funcionando.

La cantidad de energía necesaria para las actividades metabólicas basales que vendrían siendo las actividades básicas que permiten que el organismo siga vivo, depende del tamaño del individuo pero puede decirse que la media es de 1000 kcal por día. El cuerpo también necesita energía para las actividades físicas

⁴⁵ BOWERS, Richard y FOX, Edward. Sistemas energéticos. En: Fisiología del deporte. 3 ed. Buenos Aires: Panamericana, 1995. p. 14-15. ISBN 9500607778

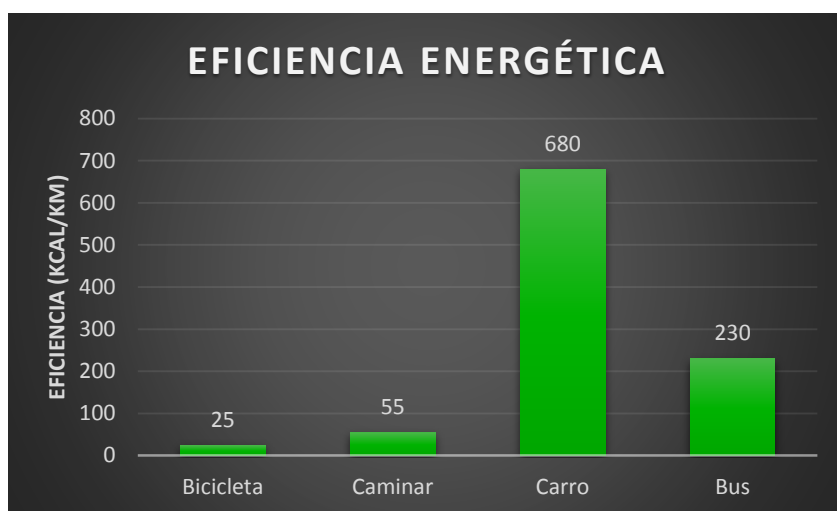
⁴⁶ SUÁREZ, Op. cit., p. 21.

⁴⁷ BAKER, Arnie. Dieta y nutrición. En: Medicina del ciclismo. 1 ed. Barcelona: Paidotribo, 2002. p. 80. ISBN 848019586X.

desde una actividad suave como caminar, hasta una actividad pesada como el ejercicio de alto rendimiento que puede requerir varios miles de calorías al día⁴⁸. El gasto de energía durante el reposo para una persona que pesa 70 kg está entre los 60 y 85 kcal/hora.

El transporte motorizado consume bastante cantidad de energía en su desplazamiento comparado con el consumo medio en bicicleta, lo que indica que la bicicleta brinda una mayor eficiencia energética, incluso más que caminando. Esto se observa en la siguiente gráfica⁴⁹.

Figura 17. Eficiencia energética



La fisiología del deporte tiene en cuenta las principales propiedades del rendimiento para un atleta, como lo son: el consumo máximo de oxígeno, la potencia muscular, la cadencia y la frecuencia cardíaca.

El consumo máximo de oxígeno ($\dot{V}O_2 \text{ Max}$) permite evaluar la capacidad de trabajo o capacidad aeróbica. La abreviatura para el volumen de oxígeno consumido por minuto es $\dot{V}O_2$ y la abreviatura $\dot{V}O_2 \text{ Max}$ se emplea para referirse al volumen máximo de oxígeno consumido por minuto durante el ejercicio y constituye la determinación más valiosa para conocer la capacidad de potencia funcional del sistema energético aeróbico. Los investigadores expresan con frecuencia el consumo de oxígeno en términos de masa corporal, lo que se denomina consumo de oxígeno relativo en mL/kg/min , por otro lado está el consumo de oxígeno absoluto, dado en mL/min ⁵⁰.

⁴⁸ BAKER. Op. cit., p. 20-21.

⁴⁹ BACHESTEROS, Jorge. Obstáculos y limitaciones para la implementación de política de uso de la bicicleta en Colombia. Tesis de Maestría en Estudios urbanos regionales. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Arquitectura, 2014. p. 47.

⁵⁰ MCARDLE. Op. cit., p. 134-236.

El $\dot{V}O_2 Max$ y los factores que lo determinan son los más estudiados en las posibilidades funcionales de los deportistas, ya que reflejan integralmente la potencia aeróbica del organismo. Muchos investigadores consideran que el $\dot{V}O_2 Max$ es el reflejo universal de las posibilidades funcionales del organismo humano y en cuanto a su magnitud se relaciona en forma directa con la resistencia a las cargas físicas⁵¹.

Entre el consumo de oxígeno y la producción de calor en el cuerpo hay una relación directa. El gasto de energía se refiere a la cantidad de energía necesaria para realizar una actividad determinada que por lo general se mide a partir de la cantidad de oxígeno consumida durante el desarrollo de la actividad.

Las cantidades de oxígeno que participan en la degradación de las sustancias contenidas en los alimentos están vinculados con la cantidad total de oxígeno consumido. El consumo de oxígeno en reposo típicamente oscila entre 0,2 y 0,3 L/min. Una vez que el individuo entra en actividad, se produce un aumento en la utilización de la energía que se refleja en un incremento en el consumo de oxígeno. Luego de un periodo significativo de tiempo el deportista alcanza una meseta en su consumo de oxígeno que se mantendrá relativamente estable durante el desarrollo de la actividad. En este punto es posible observar respuestas diferentes que dependen de la condición y motivación del atleta⁵².

Muchas personas erróneamente equiparan la capacidad de oxígeno con el funcionamiento pulmonar. Pero la absorción de oxígeno máximo tiene que ver más con el corazón, los vasos sanguíneos y los músculos, que con los pulmones; ya que el corazón y los vasos sanguíneos deben hacer llegar la sangre oxigenada a los músculos y estos deben extraer el oxígeno de la sangre y utilizarlo para producir energía.

La producción de potencia podría ser más importante que el $\dot{V}O_2 Max$, se asume que la energía muscular y el uso de oxígeno se aplican a la potencia de la pierna. Es la potencia, no el uso de oxígeno, lo que hace que el atleta circule por la carretera. Las discrepancias entre la producción de potencia y el $\dot{V}O_2 Max$ se relacionan con la economía, sin embargo, el consumo máximo de oxígeno es considerado por muchos la medida fisiológica más importante del potencial de resistencia aeróbica de un atleta. En la Tabla 6⁵³ es posible observar los rangos de consumo de oxígeno y de potencia para ciclistas en competencia.

Varios estudios han intentado determinar la frecuencia óptima de pedaleo, pero no especifican qué camino seguir para dar recomendaciones de entrenamiento. No existe una frecuencia de pedaleo determinada mejor que las demás. La mejor cadencia depende del individuo y del tipo de ciclismo. La mayoría de ciclistas de competición prefieren una cadencia de entre 80 y 110 revoluciones/ min. Algunos estudios han hallado relaciones entre la cadencia, la eficiencia y la economía⁵⁴.

⁵¹ SERGEYEVICH. Op. cit., p p.37-38.

⁵² BOWERS. Op. cit., p. 30-32.

⁵³ SERGEYEVICH. Op. cit., p.76.

⁵⁴ BAKER. Op. cit., p. 117-118.

Tabla 6. Índices de potencia aeróbica de ciclistas de alto rendimiento

Parámetros	Valores promedio (n=64)	Intervalos de las oscilaciones	Índices de los líderes de equipos	Índice de los ciclistas de mediana categoría
$\dot{V}O_{2\max}$ (ml/min/kg)	71.8±0.71	63.5±81.3	76.5	64.1±0.58
w_{cr} (W/kg)	5.10±0.10	4.57±5.54	5.18	4.49±0.13

Al aumentar la exigencia del ejercicio se acelera con mayor rapidez la frecuencia cardiaca en personas no entrenadas que en atletas, pero en general entre la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno hay una relación directa⁵⁵. El corazón de un adulto late constantemente entre 50 y 80 veces por minuto sin un estímulo externo o quietud⁵⁶.

Además de estas variables las cuales evidencian el rendimiento de un ciclista, existen otras que son básicas como el tiempo, la distancia y la velocidad. Estas se requieren para hallar la potencia, el consumo de oxígeno, entre otros parámetros.

En realidad la variable necesaria para calcular potencia y consumo de oxígeno es la velocidad, pero para hallar la velocidad necesitamos conocer tiempo y distancia; como es bien sabido la velocidad es la relación entre distancia y tiempo, por lo que la división de la distancia entre el tiempo nos da por resultado la velocidad.

Para tener una información más completa y detallada de estas variables, se hará el cálculo de su valor promedio y su valor máximo. A continuación se nombran las variables que intervienen en el rendimiento del deportista y que han sido elegidas para ser mostradas en la aplicación.

1. Tiempo del recorrido
2. Distancia recorrida
3. Velocidad promedio
4. Velocidad máxima
5. Cadencia Promedio
6. Cadencia máxima
7. Potencia Promedio
8. Potencia Máxima
9. Consumo Promedio de oxígeno
10. Consumo Máximo de oxígeno
11. Kilocalorías consumidas

3.1.2 Huella ecológica

En la actualidad existen problemas en la movilidad, como congestión vehicular, aumento del tiempo en los viajes. Además, esto implica una mayor

⁵⁵ MCARDLE. Op. cit., p. 297-298.

⁵⁶ MCARDLE. Op. cit., p. 283.

contaminación ambiental que se ve reflejada en problemas en la salud, como enfermedades respiratorias, consultas hospitalarias y ausencia laboral. Una de las principales fuentes de contaminación en grandes proporciones a la atmósfera son los vehículos, que por sus emisiones al medio ambiente representa un alto impacto social, económico y ambiental.

El uso de bicicleta trae beneficios como mejorar la salud debido al ejercicio aeróbico, reduce las emisiones atmosféricas, realiza un mejor uso del espacio público y contribuye a disminuir la congestión vehicular⁵⁷.

Este trabajo está enfocado en el rendimiento deportivo y también en el aporte al medio ambiente por usar la bicicleta como medio alternativo de transporte. Se necesita una variable que indique este aporte de una manera cuantitativa, como lo son los kilogramos de CO_2 que no son emitidos a la atmósfera por no usar vehículos que quemen productos derivados del petróleo y emitan a la atmósfera gases de efecto invernadero.

Finalmente, dos datos extra se agregan al total de variables de rendimiento, para completar todo lo que es mostrado por la aplicación al usuario, los cuales son:

- 12. Kilogramos de CO_2 ahorrados con respecto a un Carro
- 13. Kilogramos de CO_2 ahorrados con respecto a un Bus

3.2 Relación entre datos y las variables de rendimiento

La relación entre los datos transmitidos por el sistema electrónico al teléfono inteligente y las variables que son mostradas en la aplicación, son de suprema importancia. Los datos tomados de los sensores y transmitidos por el sistema, son los siguientes:

- Cantidad de pulsos del sensor *Hall* puesto en la rueda
- Tiempo entre pulsos del sensor *Hall* puesto en la rueda (ms)
- Tiempo total transcurrido (ms)
- Cantidad de pulsos del sensor *Hall* puesto en el pedal

También son necesarios otros datos referentes a los valores propios del individuo y su bicicleta, que deben ser ingresados por el usuario al iniciar la aplicación móvil y son:

- Peso de la persona (kg)
- Peso de la bicicleta (kg)
- Altura de la persona (cm)
- Diámetro o tamaño de la rueda de la bicicleta (cm)
- Edad de la persona (años)
- Ritmo cardíaco en reposo de la persona (lpm)

⁵⁷ BACHESTEROS. Op. cit., p 13-21.

Hay otros datos que no son ingresados directamente por el usuario, pero que se calculan con relaciones matemáticas y son de importancia para las ecuaciones que definen las variables de rendimiento, como por ejemplo:

- $\text{Perímetro de la rueda (km)} = \frac{\pi * d}{100.000}$ $\{d = \text{Diámetro de la rueda (cm)}\}$
- $\text{Peso Sistema (kg)} = \text{PesoPersona} + \text{PesoBicicleta} + \text{PesoDispositivo}$

A continuación se explican detalladamente los cálculos necesarios para hallar las variables de rendimiento y ahorro de emisiones de CO_2 al medio ambiente, teniendo en cuenta los datos registrados por el sistema, los ingresados por el usuario y los calculados.

Tabla 7. Nomenclatura de variables para las ecuaciones

Nombre de la variable	Abreviatura
Cantidad de pulsos sensor <i>Hall</i> puesto en la rueda	CPR
Tiempo entre pulsos sensor <i>Hall</i> puesto en la rueda	TePR
Tiempo total transcurrido	TTT
Cantidad de pulsos sensor <i>Hall</i> puesto en el pedal	CPP
Peso de la persona	PesoP
Altura de la persona	Altura
Peso de la bicicleta	PesoB
Diámetro o tamaño de la rueda de la bicicleta	DiamR
Perímetro de la rueda	PerimR
Peso del sistema	PesoS
Tiempo del recorrido	TR
Distancia recorrida	DR
Velocidad promedio	Vel_{prom}
Velocidad máxima	Vel_{max}
Cadencia promedio	Cad_{prom}
Cadencia máxima	Cad_{max}
Potencia promedio	P_{prom}
Potencia máxima	P_{max}
Consumo promedio de oxígeno	$\dot{V}O_{2\ prom}$
Consumo máximo de oxígeno	$\dot{V}O_{2\ max}$
Kilocalorías consumidas	KcalConsum
Kilogramos de CO_2 ahorrados	CO_2 Ahorrado
Área de Superficie Corporal	BSA
Presión Atmosférica	Pb
Temperatura	T

3.2.1 Tiempo del recorrido

El tiempo del recorrido es un dato que el sistema envía al teléfono inteligente llamado tiempo total transcurrido, pero este tiempo se entrega en milisegundos (ms), por lo tanto hay que realizar una conversión para pasarlo a horas, esto se hace dividiendo por 3'600.000.

$$TR [h] = \frac{TTT [ms]}{3'600.000 [ms/h]} \quad (3)$$

3.2.2 Distancia recorrida

Para hallar la distancia total recorrida son necesarios dos datos: la cantidad de pulsos que mide el sensor puesto en la rueda y el perímetro de la misma.

Conociendo el perímetro de la rueda, se obtiene la distancia recorrida por la llanta en una vuelta completa. La cantidad de vueltas que da la rueda durante el recorrido, se mide por la cantidad de pulsos medidos por el sensor de efecto Hall, por lo que usando la siguiente ecuación se obtiene la distancia recorrida.

$$DR [km] = CPR \times PerimR [km] \quad (4)$$

3.2.3 Velocidad promedio

La velocidad promedio se calcula dividiendo la distancia total recorrida entre el tiempo total del recorrido.

Estos dos datos fueron anteriormente calculados, por lo tanto, se deben reemplazar en la siguiente ecuación, lo cual nos da la velocidad en unidades de kilómetros por hora.

$$Vel_{prom} [km/h] = \frac{DR [km]}{TR [h]} \quad (5)$$

3.2.4 Velocidad máxima

La velocidad máxima se calcula con el valor mínimo de tiempo entre pulsos que el sistema envió, equivalente a las velocidades instantáneas. Debido a que el perímetro es un valor constante, la velocidad máxima está determinada por el menor tiempo que la rueda se demoró en dar una vuelta.

Pero al igual que el tiempo del recorrido, el tiempo entre pulsos también está dado en milisegundo, por lo que hay que hacer la conversión que se muestra en la siguiente ecuación.

$$Vel_{max} [km/h] = \frac{PerimR [km] \times 3'600.000 [ms/h]}{(Menor)TePR [ms]} \quad (6)$$

3.2.5 Cadencia promedio

La cadencia es la cantidad de vueltas que da el pedal durante cierto tiempo, usualmente esta cantidad se da cada minuto.

El programa se diseñó para que enviara cada minuto el dato correspondiente a la cantidad de pulsos medidos por el sensor *Hall* puesto en el pedal. Cada uno de estos datos es almacenado en una lista creada dentro de la aplicación móvil. Por lo que al final sólo hay que hacer el promedio de cadencia, dividiendo la sumatoria de las cadencias de la lista en el total de minutos del recorrido.

$$Cad_{prom} [r/min] = \frac{\sum \text{Cadencias por minuto}}{\text{Total de minutos del recorrido}} \quad (7)$$

3.2.6 Cadencia máxima

Dentro de la aplicación se crea una variable llamada Cadencia Máxima la cual se inicializa en cero. Esta variable se actualiza, evaluando cada uno de los valores de una la lista que almacena todas las cadencias registradas, si el valor de la lista es mayor al valor actual de la variable, se reemplaza por dicho valor; así que cuando termine la comparación con todos los valores de la lista, en esta variable quedará el valor máximo de cadencia.

3.2.7 Potencia máxima

En la literatura existen muchas fórmulas que estiman la producción de potencia, pero la mayoría, tienen un error variable notable y la ecuación que presenta el menor error es la siguiente⁵⁸.

$$P_{max} [W] = 0.00563 * \text{PesoS}[kg] * 9.81[m/s^2] * Vel_{max}[m/s] + \frac{1.22}{2} [kg/m^3] * 0.333[m^2] * Vel_{max}^3[m^3/s^3] \quad (8)$$

3.2.8 Potencia promedio

Para hallar la potencia promedio se usa la misma fórmula que para la potencia máxima, y ya que esta depende de la velocidad, en vez de usar la velocidad máxima se usa la velocidad promedio.

$$P_{prom}(W) = 0.00563 * \text{PesoS}[kg] * 9.81[m/s^2] * Vel_{prom}[m/s] + \frac{1.22}{2} [kg/m^3] * 0.333[m^2] * Vel_{prom}^3[m^3/s^3] \quad (9)$$

⁵⁸ GONZÁLEZ HARO, Carlos. Validación de una prueba de campo para determinar la potencia aeróbica máxima en ciclismo. Tesis Doctoral. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, Facultad de medicina, Departamento de farmacología y fisiología. 2006. p. 80-163.

3.2.9 Consumo máximo de oxígeno

En las fórmulas que existen en la literatura para estimar el consumo máximo de oxígeno hay diferencias significativas con el valor medido en un laboratorio, excepto para la siguiente ecuación^{59 60}.

$$\dot{V}O_{2\max} [L O_2 / \min] = (R1 * PesoS[kg] * Vel_{\max}[m/s] + R2 * BSA[m^2] * \frac{Pb[mmHg]}{T[^\circ K]} * Vel_{\max}^3 [m^3/s^3] + 0.06 [mL O_2 / kg * s] * PesoP[kg]) * 0.006 [L * s/mL * \min] \quad (10)$$

Dónde:

$R1 = 0.0086 [mL O_2 / kg * m]$, $R2 = 0.0078 [mL O_2 * s^2 * ^\circ K / mmHg * m^3]$,
 $T = 294.15 ^\circ K = 21^\circ C$ para Bogotá, $Pb = 560 mmHg$ para Bogotá

$$BSA[m^2] = 0.007184 [m^2 / kg * cm] * PesoP^{0.425} [kg] * Altura^{0.725} [cm]^{61} \quad (11)$$

3.2.10 Consumo promedio de oxígeno

Para hallar el consumo promedio de oxígeno se usa la misma fórmula que para el consumo máximo de oxígeno; ya que esta depende de la velocidad, en vez de usar la velocidad máxima se usa la velocidad promedio y los mismo valores para T, Pb y BSA usados anteriormente.

$$\dot{V}O_{2\text{prom}} [L O_2 / \min] = (R1 * PesoS[kg] * Vel_{\text{prom}}[m/s] + R2 * BSA[m^2] * \frac{Pb[mmHg]}{T[^\circ K]} * Vel_{\text{prom}}^3 [m^3/s^3] + 0.06 [mL O_2 / kg * s] * PesoP[kg]) * 0.006 [L * s/mL * \min] \quad (12)$$

3.2.11 Ritmo cardíaco promedio

Existe una relación lineal entre el consumo de oxígeno y el ritmo cardíaco de una persona, usando una regresión se estima el valor del porcentaje de ritmo cardíaco, dependiendo del porcentaje de consumo máximo de oxígeno, según la (13)⁶².

$$\% \text{ Ritmo Cardíaco}(\%) = 0.706 * \% \dot{V}O_2 + 30.14 \quad (13)$$

⁵⁹ Ibid., p. 81-164.

⁶⁰ DI PRAMPERO, P. E., et al. Equation of motion of a cyclist. En: Journal of Applied Physiology. Julio, 1979. vol. 47, no. 1, p. 201-206.

⁶¹ DUBOIS, Delafield y DUBOIS, Eugene. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. En: Archive of Internal Medicine. Junio, 1916. vol. 17, p.863–871.

⁶² LOUNANA Joseph, et al. Relationship between %HRmax, %HR Reserve, % $\dot{V}O_{2\max}$, and % $\dot{V}O_2$ Reserve in Elite Cyclists. En: Medicine and Science in Sports and Exercise. Febrero, 2007. vol. 39, no. 2, p. 350-357.

Si tenemos los valores máximos posibles tanto de consumo de oxígeno como de ritmo cardiaco, o sea el 100%, podemos obtener el valor cuantitativo de ritmo cardiaco, según el porcentaje de $\dot{V}O_2$.

Para hallar el ritmo cardiaco máximo posible de una persona, existen variedad de fórmulas pero se usa la fórmula de la (14)^{63 64} por ser la más conservadora al no considerar la condición física de las personas.

$$\text{Ritmo Cardiaco Máximo Posible (lpm)} = 208 - 0,7 * \text{Edad (Años)} \quad (14)$$

Para calcular el consumo máximo de oxígeno posible se utiliza la (15)⁶⁵.

$$\dot{V}O_{2 \max \text{ posible}} (L/min) = \frac{15.3 \left(\frac{ml O_2}{min * kg} \right) * \frac{RC_{\max \text{ posible}} (lpm)}{RC_{\text{reposo}} (lpm)} * \text{PesoP} (kg)}{1000 (mL O_2 / L O_2)} \quad (15)$$

Entonces, ya que tenemos el consumo de oxígeno promedio en (L/min) y el consumo máximo de oxígeno posible, podemos obtener el porcentaje que corresponde al consumo promedio de oxígeno con una regla de tres. Teniendo este porcentaje, se usa la (13), la cual nos da un porcentaje de ritmo cardíaco que corresponde al promedio y si decimos que el ritmo cardiaco máximo posible equivale al 100%, nuevamente con una regla de tres se halla el valor cuantitativo del ritmo cardíaco promedio en latidos por minuto.

3.2.12 Ritmo promedio

Para un ciclista es más fácil reconocer cuánto tiempo se demora en recorrer un kilómetro, a este dato se le llama ritmo promedio y se calcula dividiendo el tiempo total en minutos entre la distancia recorrida.

$$\text{Ritmo Promedio (min/km)} = \frac{TR (min)}{DR (km)} \quad (16)$$

3.2.13 Kilocalorías consumidas

Para estimar el valor de kilocalorías quemadas por un ciclista se tiene en cuenta la velocidad promedio durante el ejercicio y el peso del sistema, que es la suma del peso del ciclista más el peso de la bicicleta. La fórmula se muestra a continuación⁶⁶.

⁶³ NES, B, et al. Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: The HUNT Fitness Study. En: Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. Diciembre, 2013. vol. 23, p. 697–704.

⁶⁴ TANAKA, Hirofumi; MONAHAN, Kevin y SEALS, Douglas. Age- Predicted Maximal Heart Rate Revisited. En: Journal of the American College of Cardiology. Enero, 2001. vol. 37, no. 1, p. 153-156.

⁶⁵ UTH, Niels, et al. Estimation of $\dot{V}O_{2\max}$ from the ratio between HR_{\max} and HR_{reset} - the Heart Rate Method. En: European Journal of Applied Physiology. Enero, 2004. vol. 91, p. 111–115.

⁶⁶ BAKER. Op. cit., p. 80.

$$KcalConsum = (0.046[Cal * s/m * kg] \times Vel_{prom}[m/s] \times PesoS[kg]) + (0.066[[Cal * s^3/m^3]] \times Vel_{prom}^3[m^3/s^3]) \quad (17)$$

3.2.14 Kilogramos de CO_2 ahorrados

La emisión de gases de efecto invernadero depende del medio de transporte usado por una persona, por ejemplo si viaja en un bus de transporte público, en un carro particular, si en el carro va sólo el conductor, o van las 5 personas, se determina un estimado de la cantidad de kilogramos de CO_2 emitida a la atmosfera por persona; por kilometro es de 0.003 kg si se viaja en un bus de transporte público y de 0.32 kg si viaja sólo el conductor en un carro de gama media^{67 68}.

Ya que no toda la gente usa el mismo medio para transportarse, se escogieron los más habituales (bus y carro particular), que son los más representativos para las personas que se movilizan en la ciudad de Bogotá para ser mostrados en la aplicación.

Por lo tanto para calcular los kilogramos de CO_2 no emitidos, se deben multiplicar los kilometros recorridos en la bicicleta por el índice de emision de CO_2 para cada medio de transporte ya mencionado.

Para calcular los kilogramos no emitidos de CO_2 a la atmosfera si se transportara una sola persona en un carro de gama media y realiza el mismo recorrido que la bicicleta, la ecuación sería la siguiente:

$$CO_2Ahorrado[kg] = DR[km] * 0.32[kg/km] \quad (18)$$

Para los kilogramos no emitidos de CO_2 a la atmosfera si se transportara en un bus de transporte público, la ecuación sería la siguiente:

$$CO_2Ahorrado[kg] = DR[km] * 0.003[kg/km] \quad (19)$$

⁶⁷ SEGURA, Paco. Transporte y cambio climático. En: Revista El Ecologista. Junio, 2007. no. 53. Gráfico 10. Disponible En: <http://www.ecologistasenaccion.org/article20911.html>.

⁶⁸ BLONDEL. Op. cit., p. 9-11.

CAPÍTULO 4. SISTEMA ELECTRÓNICO Y PROCESAMIENTO DE DATOS

En este capítulo se muestran los parámetros electrónicos que se tuvieron en cuenta para lograr el desarrollo del sistema, como la elección del microcontrolador, el cual envía ciertos datos mediante comunicación *Bluetooth* hacia el celular para que a través de ecuaciones se obtengan las variables de rendimiento físico y de aporte al medio ambiente, que son mostrados posteriormente en una aplicación móvil.

4.1 Parámetros para el diseño del sistema electrónico

Para la elección de los dispositivos electrónicos usados en el sistema, se tuvo en cuenta que los dispositivos cumplieran con los requerimientos del proyecto y las configuraciones necesarias para su correcto funcionamiento.

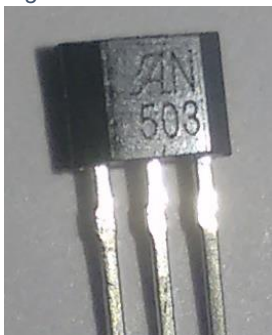
4.1.1 Sensores

La mayoría de índices de rendimiento se obtienen a partir de la velocidad de la bicicleta y para hallar esta velocidad es necesario implementar un sensor que cuente las vueltas que da la rueda. Teniendo en cuenta diferentes factores de funcionamiento de los sensores se realizó la Tabla 8.

Tabla 8. Comparación entre sensores

Sensores sin contacto	Alineación directa	Respuesta a altas frecuencias	Interferencia metálica
Efecto Hall	No	Sí	No
Infrarrojo	Sí	Sí	No
Capacitivo	No	No	Sí
Inductivo	No	No	Sí
Encoder	Sí	Sí	No

Figura 18. Sensor efecto Hall



Se eligió un sensor de efecto *Hall*, este sensor funciona bajo el fenómeno denominado efecto *Hall*, el cual dice que cuando a un conductor que transporta una corriente se le coloca un campo magnético, se genera una diferencia de potencial o voltaje *Hall*, el cual es perpendicular tanto al sentido de la corriente como al campo magnético⁶⁹.

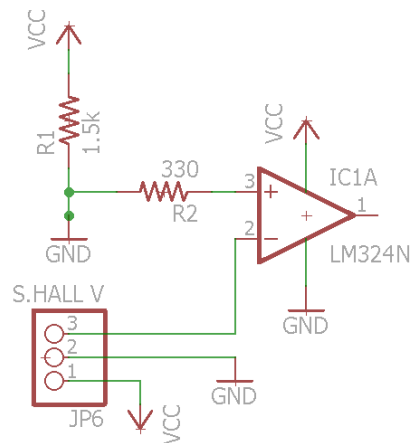
⁶⁹ SERWAY, Raymond A. y BEICHNER, Robert J. Campos magnéticos. En: FÍSICA Para Ciencias e Ingeniería. 5 ed. México D.F.: MCGRAW-HILL, 2001. vol. 2. p. 925-927. ISBN 970-10-3582-8.

En consecuencia este sensor es sensible a cambios de intensidad en el campo magnético y es por esta razón que se colocó un imán en los radios de una bicicleta, con un sensor de efecto *Hall* fijo sobre el tenedor de la bicicleta, de tal manera que quede alineando el imán con el sensor y se pueda obtener la medición de un pulso digital cada vez que el imán pasa cerca del sensor. Esta medición se requiere para conocer la velocidad y la distancia recorrida.

Para conocer la cadencia, se usa este mismo sensor pero dispuesto en los pedales, por lo que este segundo sensor lleva la cuenta de la cantidad de pedaleos que el ciclista realiza.

Se implementó un circuito de acondicionamiento para que la histeresis del sensor no sea importante, por lo tanto se usan amplificadores operacionales configurados como comparadores, con un voltaje de referencia de 4 V dado por un divisor de voltaje en el pin no inversor del amplificador, como se muestra en la Figura 19.

Figura 19. Acondicionamiento del sensor de efecto Hall con un amplificador operacional



Donde:

$$V_{ref} = \frac{R1 * VCC}{R1 + R2} \quad (20)$$

$$V_{ref} = \frac{1.5 \text{ k}\Omega * 5 \text{ V}}{1.5 \text{ k}\Omega + 330\Omega} = 4 \text{ v}$$

4.1.2 Bluetooth

Es indispensable que los datos que el sistema electrónico transmite en tiempo real al teléfono inteligente, sean enviados por medio de comunicación inalámbrica, para evitar problemas de movilidad del ciclista por la utilización cables. Se realizó la Tabla 9 para comparar las tecnologías existentes⁷⁰.

⁷⁰ MULLER, Op. cit., p. 1- 47.

Tabla 9. Comparación transmisión inalámbrica

Transmisión inalámbrica	Velocidad de transmisión	Alineación	Distancia de funcionamiento	Movimiento entre dispositivos
Bluetooth	Media	No	10m	Sí
Infrarrojo	Alta	Sí	1m	No

Se eligió la tecnología *Bluetooth* ya que no requiere una trayectoria clara y directa para transmitir. Se utilizó un módulo HC05 que puede configurarse como esclavo o maestro y que permite ajustar la velocidad en baudios a la cual va a transmitir los datos que el sistema junto con los sensores registran. Se conecta por el puerto serial de un microcontrolador de manera asíncrona para poder adquirir los datos y de esta manera poderlos enviar de forma inalámbrica al teléfono.

Se configura el modulo *Bluetooth* con comandos AT como esclavo a 9600 baudos, se le asigna un nombre, una contraseña y así pues es posible vincular el módulo con el teléfono inteligente.

4.1.3 Microcontrolador

Para elegir el microcontrolador se evaluaron las características que eran necesarias tener para el correcto funcionamiento del sistema, por lo tanto se escogió un PIC de *Microchip*⁷¹.

Como se expuso anteriormente, una prioridad es la de calcular el tiempo, por lo que el PIC obligatoriamente debe tener reloj interno o posibilidad de adicionar un reloj externo y contar con la opción de un temporizador. Para la transmisión de datos se requiere que el PIC tenga pines serial (Rx y Tx) y trabaje a una velocidad adecuada para transmitir datos por *Bluetooth*.

Para las entradas de los sensores, se necesita que tenga por lo menos 4 pines de entrada y salida (I/O), 2 para los sensores (Entradas digitales) y 2 pines seriales para la comunicación por *Bluetooth*.

Se realizó una comparación entre tres fabricantes de microcontroladores con características similares, como se observa en la Tabla 10^{72 73}.

⁷¹ MICROCHIP. [en línea]. < <http://www.microchip.com/> > [consultado el 02 de junio de 2016].

⁷² ATMEL. Data Sheet Atmega8. Disponible En: < http://www.atmel.com/images/atmel-8159-8-bit-avr-microcontroller-atmega8a_datasheet.pdf >

⁷³ DATASHEETCATALOG. Data sheet J1850 8-Bit 68HC05. Disponible En: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets/270/75770_DS.pdf >

Tabla 10. Comparación de microcontroladores

	Marca	I/O	Memoria EEPROM	P. serial	Interrupciones	Timer	Oscilador	Costo
PIC 16F628A	Microchip	16	128 bytes	USART	SÍ	3 TIMER (8, 16, 8 bit)	4MHz	\$6.500
Atmega8	Atmel	23	512 bytes	USART	SÍ	3 TIMER (8, 8, 16 bit)	1,2,4,8 MHz	\$22.000
J1850 68HC05	Motorola	13	2110 bytes	SPI	SÍ	1 TIMER (16 bit)	5MHz	-

Teniendo en cuenta todos estos requerimientos, se escogió el PIC16F628A, ya que es el PIC más pequeño que cuenta con un reloj interno de 4 MHz y la opción de un reloj externo; 16 entradas o salidas (I/O); un módulo USART de comunicaciones (Rx y Tx) con 3 timers incorporados: TIMER0 de 8 bits con reloj interno y preescalador, TIMER1 de 16 bits con reloj externo y TIMER2 de 8 bits con preescalador y postescalador.

Con estas características el PIC cumple con las especificaciones requeridas, pero además de eso tiene, una memoria SRAM de 224 bytes y una EEPROM de 128 bytes, tiene 2 módulos comparadores de señal analógica con referencia interna o externa y un *watchdog timer* con oscilador independiente.

La primera variable que se propuso en el capítulo anterior fue la de tiempo del recorrido; para hallar la velocidad promedio y velocidad máxima se requiere conocer el tiempo que tarda la llanta en dar una vuelta, además se deben enviar cada determinado tiempo los datos obtenidos de los sensores, por tal motivo es necesario configurar el microcontrolador de tal manera que sea efectivo en el manejo del tiempo.

A continuación se muestra la configuración que define el ciclo de trabajo del microcontrolador y se examina la velocidad de transmisión por el puerto serial que va a estar conectado con el módulo *Bluetooth*, haciendo uso de las ecuaciones proporcionadas del datasheet del microcontrolador PIC16F628A⁷⁴.

⁷⁴ MICROCHIP. Data Sheet PIC16F628A. Disponible En: <<http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F628A>>

Tabla 11. Nomenclatura de variables

Nombre de la variable	Abreviatura
Ciclo máquina	CM
Frecuencia del oscilador	f_{osc}
Periodo de oscilación	T_{osc}
Tiempo de la interrupción de TMR0	TInterrup
Preescalador de TMR0	Preesc
Tamaño de TMR0	TamañoTMR0
Valor inicial del registro de TMR0	TMR0
Velocidad de transmisión UART deseada	VelDeseada
Velocidad de transmisión UART calculada	VelCalculada
Tiempo de transmisión UART de un bit	TiempoBit
Registro SPBRG del UART	SPBRG

- Ciclo máquina

El microcontrolador cuenta con 4 *timer* pero usaremos el TIMER0 ya que usa un oscilador interno de 4 Mhz que permite que cada ciclo máquina o instrucción de la programación sea justamente de 1 μs .

$$CM = 4 * T_{osc} = \left(\frac{1}{f_{osc}} \right) \quad (21)$$

$$CM = 4 \left(\frac{1}{4 \text{ Mhz}} \right) = 1 \mu s$$

- Temporizador

El microcontrolador posee un TIMER0 que cuenta con 8 bits de registro de temporización, tomaría desde 0 hasta 255, en total 256 conteos. Cuando excede este número el temporizador se reinicia automáticamente y el conteo comienza de nuevo en cero, denominado desbordamiento.

El desbordamiento puede provocar una interrupción lo que abre la posibilidad de crear registros para contar tiempo, implementando una rutina de interrupción para que cuente cada desbordamiento se obtiene el valor del tiempo en el temporizador. La rutina de interrupción se lleva a cabo internamente, lo que permite que el programa principal del microcontrolador funcione sin ningún inconveniente. Por razones de precisión se desea que cada interrupción sea equivalente a 1ms, por lo tanto se usa la siguiente ecuación⁷⁵.

⁷⁵ VERLE, Milan. Detalles importantes. En: Microcontroladores PIC—Programación en C con ejemplos. Disponible en: <http://learn.mikroe.com/ebooks/microcontroladorespicc>.

$$T_{Interrupción} = CM * Preesc (TamañoTMR0 - TMR0) \quad (22)$$

Despejando para obtener el valor inicial del registro de TMR0

$$TMR0 = TamañoTMR0 - \frac{T_{Interrupción}}{4 * CM}$$

$$TMR0 = 256 - \frac{1 \text{ ms}}{4 * 1 \mu s} = 6$$

Sabiendo esto el número de interrupciones contadas será equivalente al de tiempo transcurrido, lo que quiere decir que cada interrupción equivale a un milisegundo y contando estas interrupciones es posible llevar el tiempo.

- UART

Para la comunicación serial, se usa el módulo UART del microcontrolador con la librería de *MikroC*⁷⁶ que trabaja en modo asíncrono (*full dúplex*). Donde solo es necesario inicializar el *hardware* del módulo UART con la velocidad de transmisión deseada.

Se usa la siguiente ecuación para calcular el error, conociendo que la frecuencia del oscilador interno es de 4 Mhz y deseamos una velocidad de transmisión de 9600 baudios, lo que quiere decir que se trabaja en alta velocidad, esto según las características del microcontrolador.

$$VelTransmisión = \frac{f_{osc}}{16(SPBRG + 1)} \quad (23)$$

Despejando el registro SPBRG,

$$SPBRG = \frac{f_{osc}}{16 * VelDeseada} - 1$$

$$SPBRG = \frac{4 \text{ Mhz}}{16 * 9600 \text{ baudios}} - 1 = 25.042 \cong 25$$

Con esto podemos calcular el error de la transmisión, dónde:

$$VelCalculada = \frac{4 \text{ Mhz}}{16(25 + 1)} = 9615.385 \text{ baudios} \quad (24)$$

⁷⁶ MIKROC. [en línea]. < <http://www.mikroe.com/mikroc/pic/> > [consultado el 02 de junio de 2016].

$$Error = \frac{VelCalculada - VelDeseada}{VelDeseada} \quad (25)$$

$$Error = \frac{9615.385 \text{ baudios} - 9600 \text{ baudios}}{9600 \text{ baudios}} = 0.16\%$$

Por lo cual el error es del 0.16% trabajando a 9615.385 baudios. En el momento en que haya una conexión serial, si la transmisión se está realizando 9600 baudios entonces es posible calcular el tiempo que se demora en enviar un bit de información con la siguiente⁷⁷.

$$TiempoBit = \frac{1}{VelCalculada} \quad (26)$$

$$TiempoBit = 104 \mu s$$

Por lo cual el tiempo de transmisión de un bit es de 104 microsegundos.

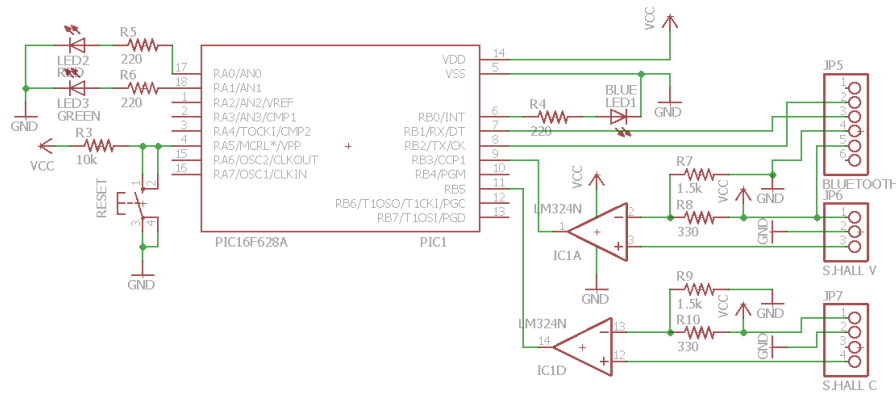
4.1.4 Sistema electrónico final

Para obtener el sistema electrónico final, se requiere de dos amplificadores operacionales en configuración de comparadores, uno para cada sensor *Hall*, ya que el sensor da una salida análoga y el PIC está configurado para estas como entradas digitales, por lo tanto, si el voltaje del sensor es mayor a 4 V, el amplificador entrega 5 V y si es menor, entrega 0 V. Se escogió un encapsulado de amplificador operacional LM324, el cual se alimenta a 5 V y contiene 4 amplificadores.

También se colocaron 3 LEDs, el primero indica si el sistema está encendido, y los otros dos indican cuando cada sensor *Hall* se activa, también se dispuso de un botón de reset del PIC.

⁷⁷ RIAÑO, William David. Fuente de alimentación variable a pequeña escala controlada por puerto serial o Bluetooth. Trabajo de Grado Facultad de ingeniería electrónica. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana Bogotá. Facultad de Ingeniería Electrónica, 2014. p. 36.

Figura 20. Esquemático del sistema electrónico

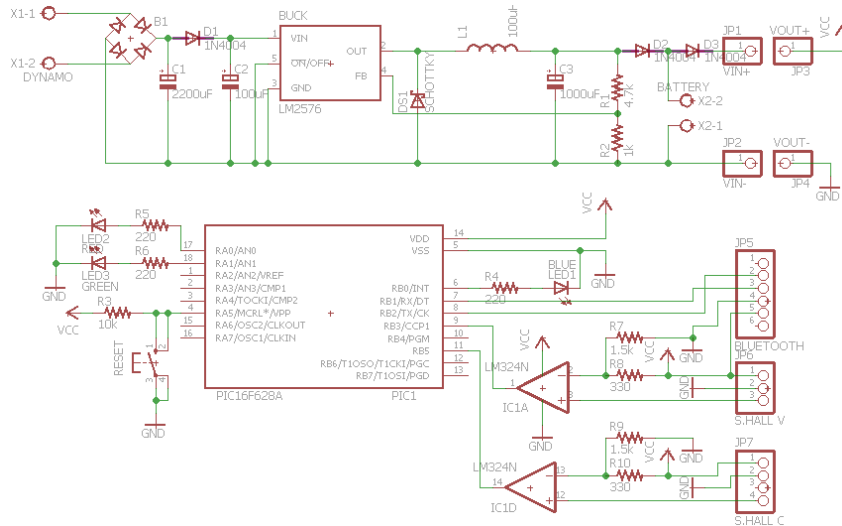


4.2 Sistema electrónico autosuficiente

Al unir el sistema de aprovechamiento de energía con el sistema electrónico se obtiene el sistema final, el cual aprovecha la energía generada por la dinamo, la almacena en una batería, y alimenta con un voltaje constante de 5 V al sistema electrónico, el cual recibe información de los sensores y transmite estos datos a través de un módulo *Bluetooth*.

A continuación se puede observar el esquemático que representa el sistema electrónico autosuficiente resultante.

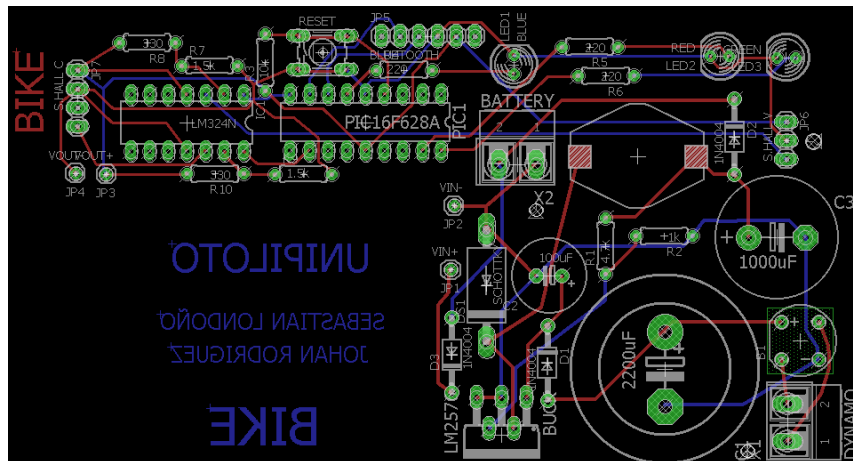
Figura 21. Esquemático del circuito completo del sistema



Basados en el esquemático de la Figura 21 y utilizando el software libre *Eagle*⁷⁸, se realizó el diseño de una tarjeta para impresión en el circuito impreso, el resultado es un circuito impreso doble capa con todos los componentes como se puede observar en la Figura 22.

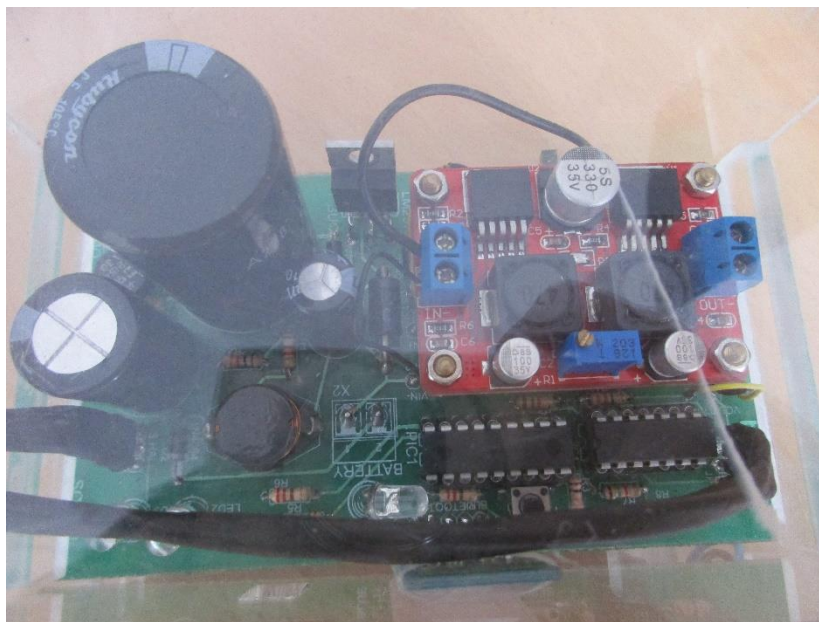
⁷⁸ EAGLE. [en línea]. < <http://www.cadsoftusa.com/> > [consultado el 02 de junio de 2016].

Figura 22. Tarjeta



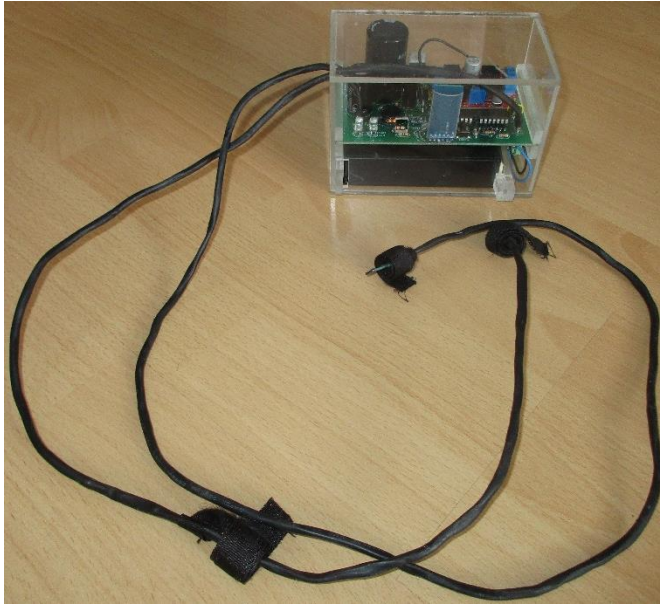
Colocando y soldando todos los componentes en el circuito impreso, se obtiene una tarjeta como la que se observa en la Figura 23.

Figura 23. Foto del circuito impreso, con los componentes



Al poner la batería y el circuito con los sensores en una caja de acrílico, el sistema queda de la manera en la que se ve en la Figura 24.

Figura 24. Foto del sistema final



Para ajustar el sistema al marco de la bicicleta se hace uso de unas bandas elásticas de caucho, las cuales aseguran el sistema para que no se mueva de manera brusca, pero permite movimiento mínimos para amortiguar huecos, andenes y terrenos irregulares.

El montaje del sistema con los sensores asegurados a la bicicleta se aprecia en las Figura 25 y Figura 26.

Figura 25. Foto de la bicicleta con el sistema final



Figura 26. Foto del sistema final instalado en la bicicleta



Para el aseguramiento de los sensores se usaron unas cintas de velcro, por su facilidad en la puesta y desmonte de los sensores, en las Figura 27 y Figura 28 se pueden observar los sensores puestos en el marco con la cinta de velcro y el imán pasando cerca de los mismos.

Figura 27. Foto del sensor de velocidad en la rueda



Figura 28. Foto del sensor de cadencia en el pedal



4.3 Programación del sistema electrónico

El microcontrolador envía cada segundo por el puerto serial al *Bluetooth* los cuatro datos que se mencionarán a continuación:

El número de pulsos censados correspondientes a cada vuelta de la rueda de la cicla que es relacionado con la distancia recorrida, el último tiempo entre pulsos de la rueda que corresponde a la velocidad instantánea en milisegundos, el número de pulsos que son censados al momento de dar una vuelta completa en el pedal, este dato es actualizado cada minuto y se relaciona con la cadencia del ciclista y finalmente el tiempo transcurrido milisegundos.

En la programación del microcontrolador primero se configuran los pines de entrada y de salida de datos, se inicializa el UART a 9600 baudios, se configura el preescalador a 1:4, se habilita la generación de interrupciones del temporizador TIMER0 y se inicializa a 6.

Los datos son diferenciados por una letra al final de cada dato para posteriormente poder seleccionarlos individualmente.

En el diagrama de flujo de la Figura 29 se describe la programación del microcontrolador el cual tiene dos sensores de efecto *Hall*, uno para la rueda y otro para el pedal. Para dar inicio al programa solicita por comunicación serial un carácter y de la misma manera pide otro para terminar el programa.

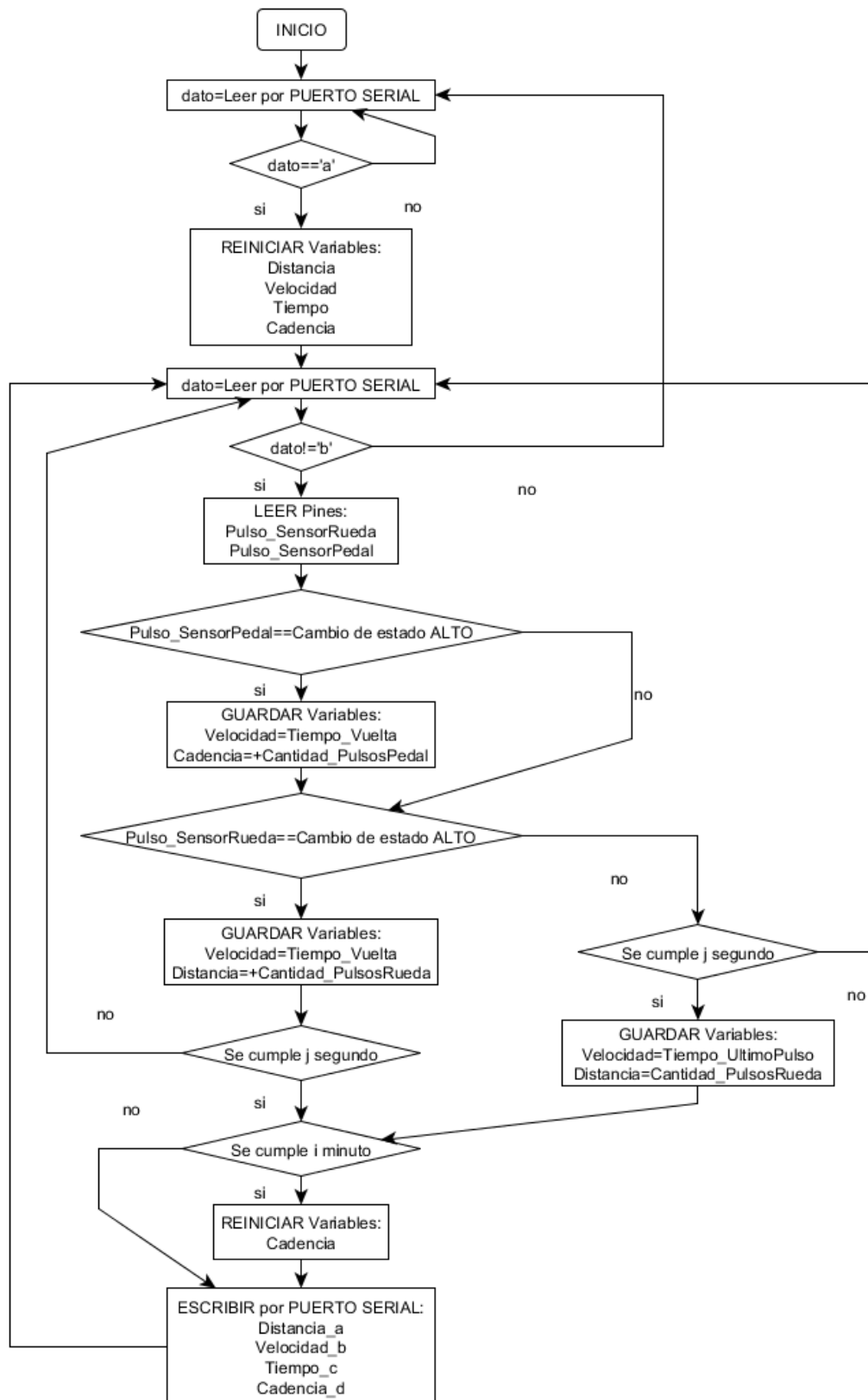
Por medio de una rutina que cuenta las interrupciones se mide el tiempo y cada segundo envía los datos solicitados.

Poniendo como ejemplo una bicicleta con 32 cm de radio, la rueda debe ir a una velocidad mayor a 7.24 km/h o de lo contrario la velocidad se actualizará en un tiempo mayor a 1 segundo. Como la medición de velocidad debe hacerse cada segundo, en el caso que se supere este tiempo sin haber registrado una vuelta es necesario hacer un ajuste y medir la velocidad según el tiempo transcurrido desde el último pulso registrado.

En este punto el sistema es capaz de enlazarse con un teléfono inteligente y transmitir los datos que le fueron programados, los cuales son:

- Cantidad de pulsos del sensor *Hall* puesto en la llanta.
- Tiempo entre pulsos del sensor *Hall* puesto en la llanta (ms).
- Tiempo total transcurrido (ms).
- Cantidad de pulsos del sensor *Hall* puesto en el pedal.

Figura 29. Diagrama de flujo programación del microcontrolador



CAPÍTULO 5.

INTERFAZ DE COMUNICACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN

En este capítulo se explicará la lógica de funcionamiento de la aplicación móvil BIKEnergy, que hace las veces de interfaz de comunicación y de visualización de datos. Esta ha sido desarrollada en el entorno de programación libre de Google, *App Inventor* 2⁷⁹.

Figura 30. Ícono de la aplicación BIKEnergy



Figura 31. Pantalla 1, principal



La aplicación está dividida en 6 pantallas, las cuales han sido llamadas Pantalla 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Cada una de ellas tiene diferentes opciones, características y funciones, las cuales serán explicadas detalladamente a continuación.

5.1 Pantalla 1, principal

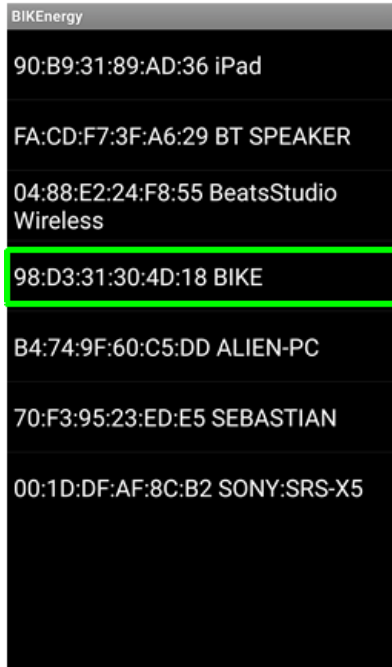
Esta pantalla se abre cuando se hace clic en el ícono de la aplicación, bien sea en el menú de aplicaciones o si se tiene como acceso directo.

Es la pantalla de inicio y también la pantalla principal de la aplicación, la cual tiene un mensaje de bienvenida en la parte superior de la pantalla, contiene el logo de la universidad y de la aplicación, uno a cada lado de la palabra bienvenido.

⁷⁹ APP INVENTOR 2. [en línea]. < <http://ai2.appinventor.mit.edu/> > [consultado el 02 de junio de 2016].

Además de esto, tiene 4 botones:

Figura 32. Lista de dispositivos bluetooth



- Ingresar Datos:

Al dar clic en este botón se abre otra pantalla: "Pantalla 2".

- Conectar:

Al dar clic en este botón, se abre una lista con los dispositivos Bluetooth enlazados previamente, al cual hay que elegir *BIKE*.

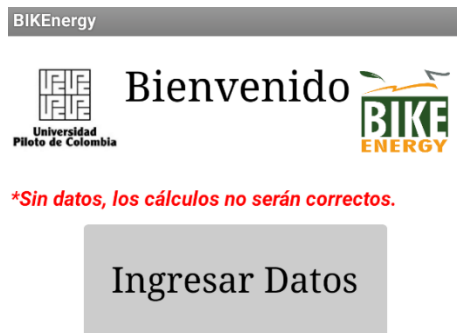
- Iniciar Actividad:

Al dar clic en este botón se abre otra pantalla: "Pantalla 3".

- Historial:

Al dar clic en este botón se abre otra pantalla. "Pantalla 4.

Figura 33. Primer mensaje de advertencia



También contiene 2 mensajes de advertencia. El primero dice que sin los datos solicitados por el primer botón, la aplicación no deja hacer nada más al usuario, y este se quita cuando el usuario ha ingresado todos los datos dentro primer botón. El segundo mensaje, si el *Bluetooth* del celular no está activado, desactiva el botón Conectar y pide que el *Bluetooth* sea activado para poder iniciar una actividad; cuando se enciende el Bluetooth del celular, el mensaje cambia a que para iniciar una actividad, primero se debe conectar al sistema, llamado *BIKE* y el botón Conectar se pone activo.

Figura 34. Segundo mensaje de advertencia, con sus dos variantes



Figura 35. Pantalla 1, iniciar actividad



Inicialmente sólo el botón Ingresar datos está activo junto con el primer mensaje, cuando todos los datos han sido ingresados, el primer mensaje desaparece y el segundo aparece, cambiando en tanto el Bluetooth esté encendido o no junto con el botón Conectar; el botón historial está desactivado debido a que no hay ninguna actividad registrada. Luego de conectarse con *BIKE* con el botón Conectar, el botón Iniciar Actividad cambia a color verde y se pone activo.

Cuando una actividad es terminada y guardada, el botón historial se activa, permitiendo ver el historial de actividades.

5.2 Pantalla 2, ingreso de datos

Esta pantalla se abre cuando se da clic en el botón Ingresar Datos de la Pantalla 1 y es donde se ingresan los datos tanto del ciclista como de su bicicleta.

Tiene un título el cual pide que se ingresen los datos. Contiene 6 casillas para llenar con datos numéricos y un botón de Guardar. Hay una advertencia que dice que todos los campos son obligatorios, esta advertencia desaparece cuando los campos no están ni en blanco ni en 0, la única excepción se hace con el ritmo cardíaco en reposo, que en caso que la persona no lo conozca, por defecto está definido como 70 latidos por minuto para una persona promedio.

Cuando los datos han sido llenados completamente, se debe hacer clic en el botón guardar y automáticamente el usuario será devuelto a la primera pantalla: "Pantalla 1".

Figura 36. Pantalla 2, con advertencia si no hay datos y sin mensaje cuando los datos están llenos

Datos		Datos	
Por favor ingrese sus datos		Por favor ingrese sus datos	
<small>*Todos los campos son obligatorios.</small>			
Datos Personales		Datos Personales	
Peso (kg)	0	Peso (kg)	81
Altura (cm)	0	Altura (cm)	180
Edad (Años)	0	Edad (Años)	21
Ritmo cardíaco en reposo (lpm)	70	Ritmo cardíaco en reposo (lpm)	55
Datos de la Bicicleta		Datos de la Bicicleta	
Peso (kg)	0	Peso (kg)	13
Diámetro de la Rueda (cm)	0	Diámetro de la Rueda (cm)	69
Guardar		Guardar	

5.3 Pantalla 3, datos instantáneos

Figura 37. Pantalla 3, datos

Datos instantáneos	
Distancia (km)	0.00
Velocidad (km/h)	0.00
Tiempo (hh:mm:ss)	0:0:9
Cadencia (r/min)	0
Potencia (W)	0.00
C. Oxígeno (L/min)	0.00
CO2 Ahorrado (kg)	0.00
Terminar Actividad	
Guardar Actividad	

Esta pantalla se abre cuando se ha conectado al sistema *BIKE*, y se ha dado clic en el botón Iniciar Actividad.

Contiene 7 cuadros de texto que se van actualizando con los datos instantáneos que llegan del sistema *BIKE* y dos botones: Terminar Actividad y Guardar Actividad. Donde el segundo botón está desactivado por defecto.

Si la velocidad es menor a 8.9 km/h, el fondo permanece blanco, cuando la velocidad es mayor a 8.9 y menor a 50 km/h el fondo cambia a un naranja con una imagen de una hoja con un enchufe, el cual indica que en este punto la batería se está cargando, si la velocidad supera los 50 km/h el fondo se pone rojo indicando que se está yendo a una velocidad demasiado alta, la cual puede dañar los dispositivos del sistema.

Figura 38. Pantalla 3, cambios de fondo según la velocidad

Datos instantáneos	Datos instantáneos	Datos instantáneos	Datos instantáneos
Distancia (km) 0.02	Distancia (km) 0.09	Distancia (km) 0.19	Distancia (km) 0.04
Velocidad (km/h) 6.25	Velocidad (km/h) 8.95	Velocidad (km/h) 38.25	Velocidad (km/h) 51.34
Tiempo (hh:mm:ss) 0:0:6	Tiempo (hh:mm:ss) 0:0:58	Tiempo (hh:mm:ss) 0:2:25	Tiempo (hh:mm:ss) 0:0:8
Cadencia (r/min) 0	Cadencia (r/min) 0	Cadencia (r/min) 25	Cadencia (r/min) 0
Potencia (W) 1.06	Potencia (W) 4.04	Potencia (W) 243.71	Potencia (W) 589.17
C. Oxígeno (L/min) 0.00	C. Oxígeno (L/min) 0.00	C. Oxígeno (L/min) 0.00	C. Oxígeno (L/min) 0.00
CO2 Ahorrado (kg) 0.01	CO2 Ahorrado (kg) 0.03	CO2 Ahorrado (kg) 0.06	CO2 Ahorrado (kg) 0.01
Terminar Actividad	Terminar Actividad	Terminar Actividad	Terminar Actividad
Guardar Actividad	Guardar Actividad	Guardar Actividad	Guardar Actividad

Cuando la actividad ha concluido y se hace clic en el botón terminar actividad en la pantalla se muestra un vago resumen de la actividad, donde se muestra distancia recorrida, tiempo del recorrido y kg de CO_2 ahorrados además el botón Guardar Actividad se pone activo.

Al dar clic en el botón Guardar Actividad, se abre una ventana con un campo de texto para ingresar el nombre de la actividad, el cual no puede llevar “comas”.

Luego de ingresar el nombre y dar OK se regresa al resumen de la Pantalla 3 con ambos botones desactivados, lo único que queda por hacer es volver atrás y regresar a la pantalla inicial: “Pantalla 1”.

Figura 39. Resumen de la actividad y ventana de texto para ingresar nombre al guardar

Datos instantáneos Distancia (km) 0.24 Tiempo (hh:mm:ss) 0:0:59 CO2 Ahorrado (kg) 0.08	Nombre de la actividad Ingrese un nombre para la actividad. (*No usar comas en el nombre) Primer Actividad OK	Datos instantáneos Distancia (km) 0.24 Tiempo (hh:mm:ss) 0:0:59 CO2 Ahorrado (kg) 0.08
Terminar Actividad		Terminar Actividad
Guardar Actividad		Guardar Actividad

5.4 Pantalla 4, historial de actividades

Figura 40. Pantalla 4

Mis Actividades	
Acumulado de CO_2 Ahorrado	8.02 kg
<hr/>	
8. Time Mejorado. 26-abr.-2016 - 04:24:10 PM	
<hr/>	
9. Prueba Cadencia. 26-abr.-2016 - 06:31:56 PM	
<hr/>	
10. Cadencia 2 error. 26-abr.-2016 - 08:56:28 PM	
<hr/>	
11. Casa a Universidad. 27-abr.-2016 - 10:49:05 AM	
<hr/>	
12. sididi. 28-abr.-2016 - 02:24:22 PM	
<hr/>	
13. Cuenta bien	
<hr/>	
muestra mal cadencia. 28-abr.-2016 - 11:58:59 PM	
<hr/>	
14. Cadencia mal. 29-abr.-2016 - 12:01:44 AM	

Esta pantalla se abre cuando se da clic en el botón Historial de la pantalla inicial: "Pantalla 1".

Contiene en la parte superior un acumulado de la sumatoria de kilogramos de CO_2 de todas las actividades que hay en el historial.

También contiene una lista con cada una de las actividades que han sido guardadas.

Al dar clic sobre alguna de las actividades se abre la pantalla de estadísticas para la actividad seleccionada: "Pantalla 5".

5.5 Pantalla 5, datos estadísticos

Esta pantalla se abre cuando se da clic sobre alguna actividad que hay en la lista de actividades de la "Pantalla 4".

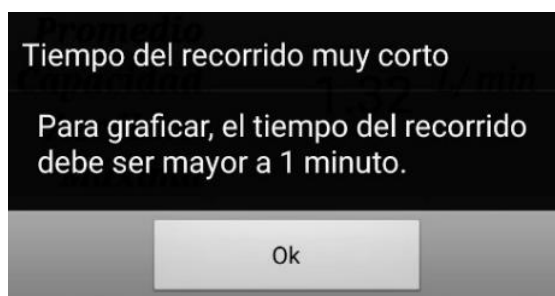
Se muestran en cuadros de texto las 12 variables tanto de rendimiento deportivo como de huella ecológica escogidas anteriormente para ser mostradas al usuario.

También contiene un botón llamado Ver Gráfica, el cual al hacer clic sobre él, si el tiempo total es mayor a un minuto, abre otra pantalla: "Pantalla 6", de lo contrario muestra un mensaje en una ventana.

Figura 41. Pantalla 5

Estadísticas: Casa a Universidad. 27-abr-2016 - 10:4...		
Tiempo Total	0:38:38	hh:mm:ss
Distancia Recorrida	10.43	km
Velocidad Promedio	16.19	km/h
Velocidad Máxima	34.84	km/h
Cadencia Promedio	39	r/min
Cadencia Máxima	70	r/min
Potencia Promedio	42.03	W
Potencia Máxima	234.81	W
Capacidad Aeróbica Promedio	0.68	L/ min
Capacidad Aeróbica Máxima	2.39	L/ min
Ritmo Cardíaco Promedio	90.24	Latidos/ min
Ritmo Promedio	2.97	min/km
Kilocalorías Consumidas	350.54	kcal
CO2 (Carro) Ahorrado	3.34	kg
CO2 (Bus) Ahorrado	0.03	kg
Ver Gráfica		

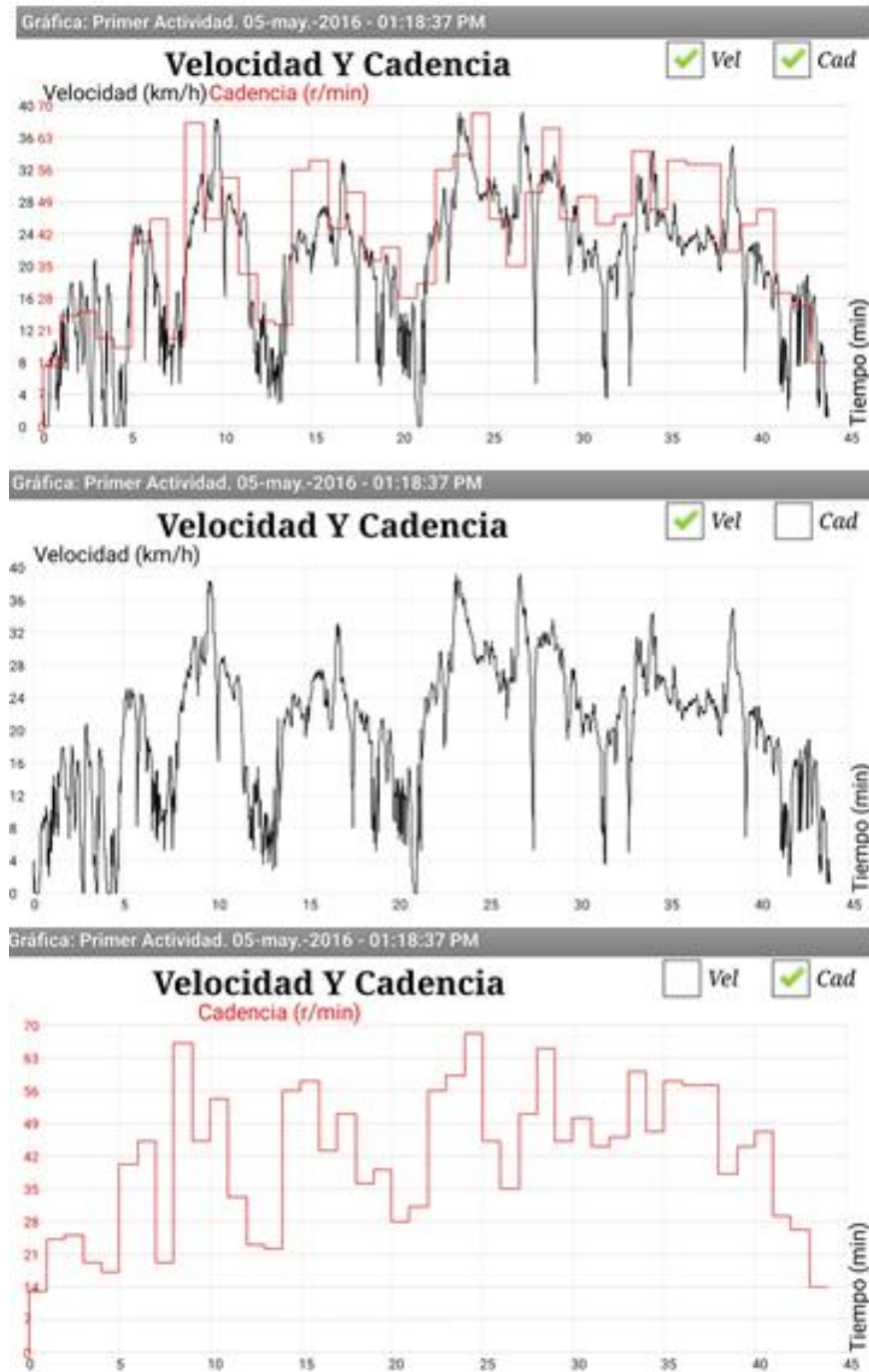
Figura 42. Ventana de error para grafica menor a un minuto



5.6 Pantalla 6, gráfica

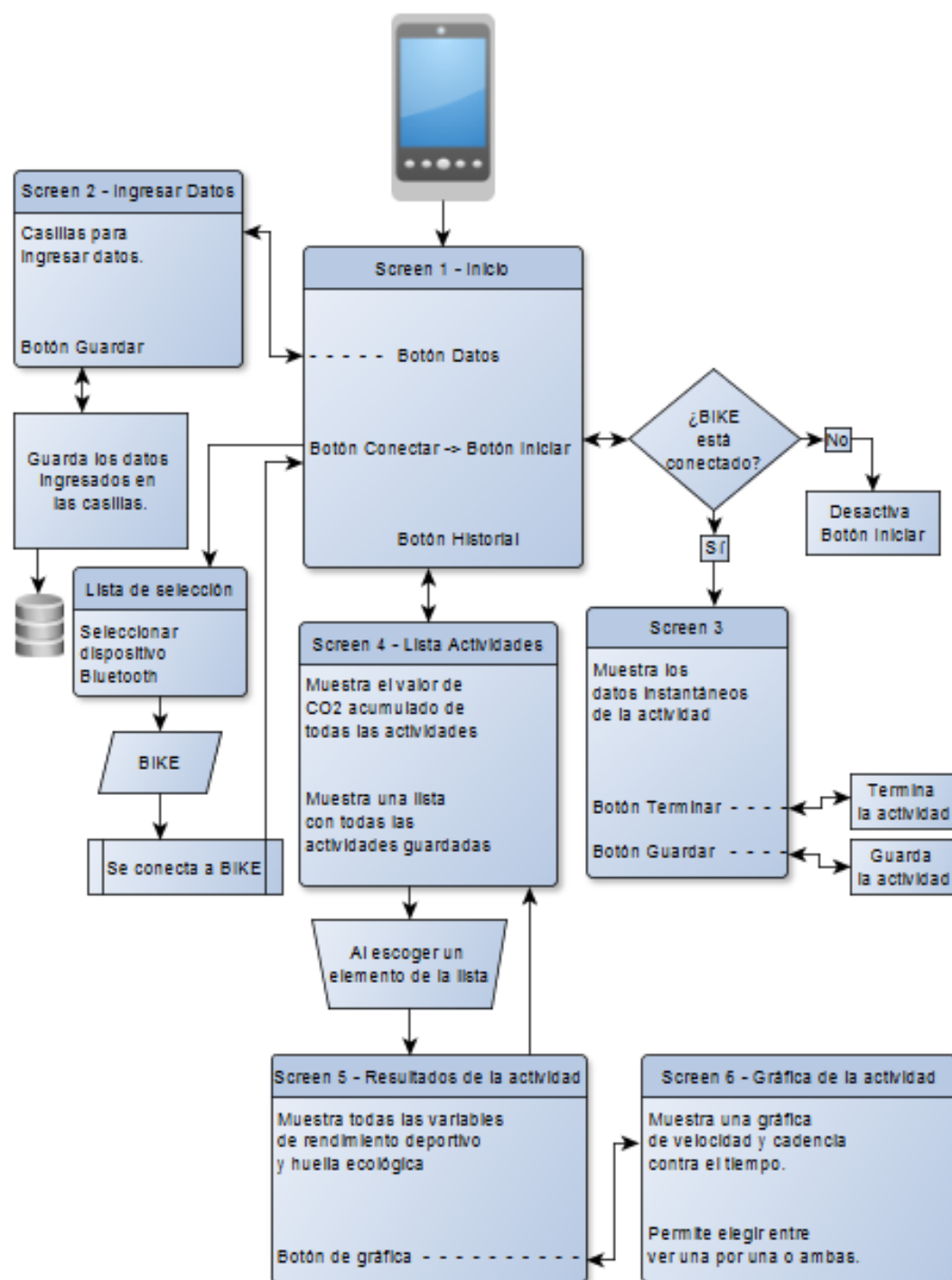
Esta pantalla se abre cuando se hace clic sobre el botón Ver Gráfica de la pantalla "Pantalla 5". Esta contiene una gráfica de velocidad y cadencia en contra del tiempo. También tiene dos casillas de selección, las cuales se usan para seleccionar cuál de las gráficas se quiere ver, si sólo la de velocidad contra el tiempo, o si sólo la de cadencia contra el tiempo o ambas sobrepuestas.

Figura 43. Pantalla 6, gráfica cadencia y velocidad, sobrepuestas y por separado



A continuación se muestra un diagrama de flujo del funcionamiento de la aplicación que se acaba de explicar anteriormente, el cual resume las funciones básicas de cada pantalla.

Figura 44. Diagrama de funcionamiento de la aplicación



CAPÍTULO 6. PRUEBAS DEL SISTEMA

En este capítulo se expondrán los resultados de pruebas que se realizaron con el sistema final y la aplicación en conjunto, comparándola con otras aplicaciones existentes similares, pero que su funcionamiento se basa en el uso de *GPS*.

Para tener un criterio de comparación, se realizaron pruebas en simultáneo con la aplicación *Biko*⁸⁰, la cual funciona con *GPS*.

Los resultados de una primera actividad fueron los siguientes:

Figura 45. Comparación de datos obtenidos prueba cero

Casa a Universidad			
Distancia Recorrida	10.43 km	10.81 km	DISTANCIA
Tiempo Total	0:38:38 hh:mm:ss	00:40:52	TIEMPO TOTAL
Velocidad Promedio	16.19 km/h	17.66 km/h	PROM. VELOCIDAD
Kilocalorías Consumidas	350.54 kcal	331.0 cal	CALORIAS
CO ₂ (Carro) Ahorrado	3.34 kg	2.69 kg	co2 AHORRADOS
			

Realizando una comparación con los valores obtenidos entre las dos aplicaciones se puede observar que existen claras diferencias, aunque son mínimas.

Mirando la distancia recorrida hay una diferencia de 0.38 km; el tiempo varía porque primero se detiene la aplicación *BIKEenergy*, se revisan los datos y se gráfica, posteriormente sí se detiene la aplicación *Biko*, por eso es el desfase en el tiempo; en la velocidad promedio se nota una clara diferencia donde la aplicación *Biko* dice que es mayor por 1.47 km/h; las kilocalorías consumidas tienen un diferencia de 19.54 kilocalorías, donde es mayor en la aplicación *BIKEenergy*; y por último los kg de CO₂ ahorrados tienen una diferencia de 0.65 kg, la cual no es significativo.

Se podría decir que los estimados del *GPS* tienen un error intrínseco, mientras que el error de los cálculos estimados con la señal de los sensores es mínimo, donde la diferencia es más notoria es en la velocidad promedio, ya que si miramos los datos proporcionados por la aplicación *Biko* y se hacen unos pequeños cálculos para estimar el error nos darían los siguientes resultados:

⁸⁰ BIKO. [en línea]. < <http://biko.com.co/> > [consultado el 02 de junio de 2016].

Si se fuera a una velocidad de 17.66 km/h durante 40.52 minutos, se recorrería aproximadamente 11.92 km. Si dividimos la distancia 10.81 entre 0.67 horas, que equivale a 40 minutos y 52 segundos, nos da que la velocidad en promedio debe ser de 16 km/h.

Por lo tanto se deduce que, el valor de la aplicación *BIKEenergy* es el más acertado y próximo a la realidad, mientras que los valores recogidos por el *GPS* no son tan precisos y existe un error bastante claro.

Para otra prueba llamada Primer Actividad los resultados fueron los siguientes:

Figura 46. Comparación de datos obtenidos en la primera actividad

Primer Actividad			
Tiempo Total	0:43:47	hh:mm:ss	00:44:43 TIEMPO TOTAL
Distancia Recorrida	13.89	km	13.97 km DISTANCIA
Velocidad Promedio	19.03	km/h	19.63 km/h PROM. VELOCIDAD
Kilocalorías Consumidas	537.55	kcal	427.0 cal CALORIAS
CO2 (Carro) Ahorrado	4.44	kg	3.47 kg co2 AHORRADOS
			

Para otra prueba llamada Segunda prueba los resultados fueron los siguientes:

Figura 47. Comparación de datos obtenidos en la segunda actividad

Segunda prueba			
Tiempo Total	0:36:30	hh:mm:ss	00:37:24 TIEMPO TOTAL
Distancia Recorrida	10.80	km	11.07 km DISTANCIA
Velocidad Promedio	17.75	km/h	18.7 km/h PROM. VELOCIDAD
Kilocalorías Consumidas	446.75	kcal	338.0 cal CALORIAS
CO2 (Carro) Ahorrado	3.46	kg	2.75 kg co2 AHORRADOS
			

Para tener puntos de comparación más claros, se realizaron pruebas en simultáneo con 3 aplicaciones, *BIKEEnergy*, *Biko* y *Runtastic*⁸¹.

Por supuesto que los recorridos en *GPS* tanto de *Biko* como de *Runtastic* son iguales, debido a que ambos trabajan de una manera muy similar, por lo tanto no se hará comparación entre estas dos aplicaciones.

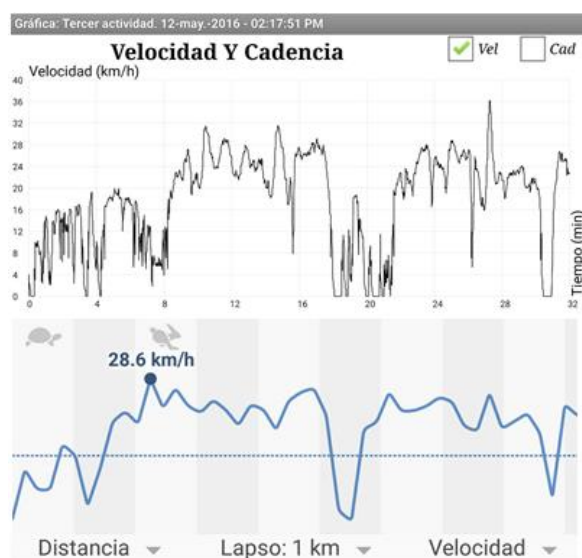
Existen variables que una u otra aplicación no tiene, pero *BIKEEnergy* sí, por eso se verán algunos espacios vacíos en las tablas siguientes de comparación, ya que dicha aplicación no hace el cálculo para esa variable en específico.

También veremos una comparación en las gráficas de velocidad, en las cuales *Runtastic* permite ver una gráfica de velocidad, mientras que *Biko* no, por dicha razón no se había hecho esa comparación anteriormente.

Figura 48. Comparación de datos obtenidos, tercera actividad

Tercer actividad		
Tiempo Total 0:31:59 hh:mm:ss	00:34:16 TIEMPO TOTAL	Duración 00:35:04
Distancia Recorrida 8.83 km	9.2 km DISTANCIA	Distancia (km) 9.29
Velocidad Promedio 16.56 km/h	17.92 km/h PROM. VELOCIDAD	Vel. media 15.9 km/h
Velocidad Máxima 36.13 km/h		Velocidad máx. 34.5 km/h
Ritmo Promedio 3.62 min/km		Ritmo medio 03:46 min/km
Kilocalorías Consumidas 371.96 kcal	281.0 cal CALORIAS	Calorías 207
CO2 (Carro) Ahorrado 2.82 kg	2.29 kg co2 AHORRADOS	
		

Figura 49. Comparación de gráficas de velocidad entre *BIKEEnergy* y *Runtastic*, tercera prueba



⁸¹ RUNTASTIC. [en línea]. < <https://www.runtastic.com/es> [consultado el 02 de junio de 2016].

Como se puede observar, existen diferencias claras entre las tres aplicaciones, a pesar de que *Biko* y *Runtastic* funcionen de una manera similar, usando el GPS sus resultados no son iguales, para algunas variables son muy similares como por ejemplo para la distancia, mientras que para la velocidad hay una gran diferencia. En cuanto a *BIKEnergy* los resultados de velocidad son muy parecidos a los de *Runtastic* y los resultados de huella ecológica coinciden bastante con los de *Biko*.

En las gráficas se puede observar a simple vista la diferencia de resolución que existe entre ellas, debido a que *BIKEnergy* grafica cada segundo, su definición es mucho más alta que la de *Runtastic*, además de tener escala en sus ejes para ser mucho más clara. A pesar de esto, las gráficas son muy similares.

Figura 50. Comparación de datos obtenidos, cuarta actividad

Cuarta actividad		
Tiempo Total	0:25:18 <small>hh:mm:ss</small>	00:26:00 TIEMPO TOTAL
Distancia Recorrida	8.53 km	8.71 km DISTANCIA
Velocidad Promedio	20.22 km/h	21.48 km/h PROM. VELOCIDAD
Velocidad Máxima	41.51 km/h	
Ritmo Promedio	2.97 min/km	
Kilocalorías Consumidas	633.95 kcal	266.0 cal CALORIAS
CO2 (Carro) Ahorrado	2.73 kg	2.16 kg co2 AHORRADOS
		
		

Figura 51. Comparación de gráficas de velocidad entre *BIKEnergy* y *Runtastic*, cuarta prueba

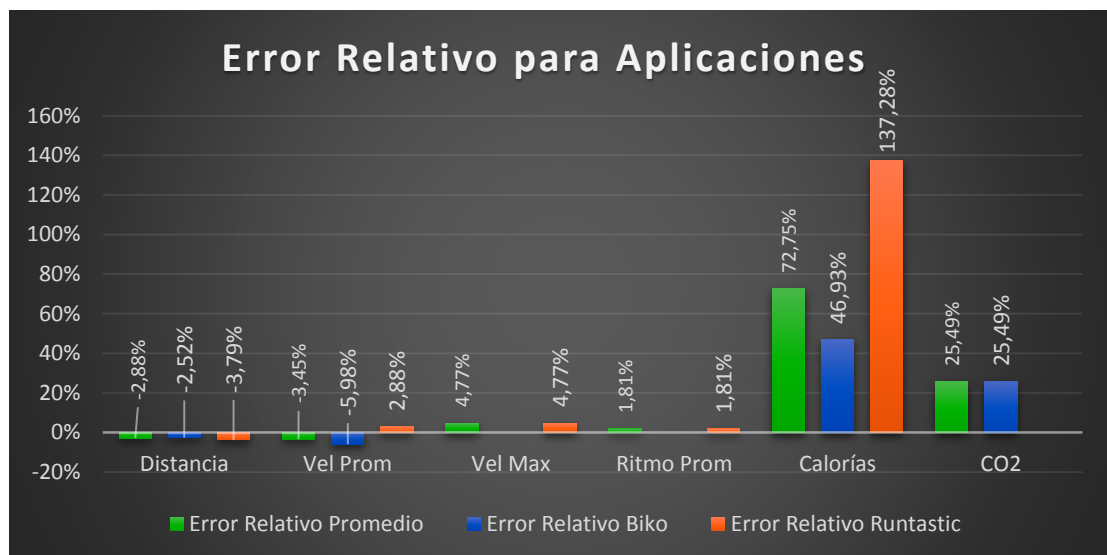


Las actividades tercera y cuarta fueron realizadas el mismo día, siguiendo la misma ruta, la actividad número 3 es el recorrido de ida hasta un punto en específico y la número 4 es el recorrido de venida hasta el punto de inicio de la actividad 3. Es necesario señalar que para la salida se tomó un camino distinto que para el de llegada, pero la diferencia de estos no es de más de 2 o 3 cuadras. Por lo que al ser el mismo recorrido las distancias deben de ser muy cercanas, con una leve diferencia de entre 200 o 300 metros.

Si restamos las distancias, vemos que la diferencia entre las dos pruebas con la aplicación *BIKEnergy* es de 300 metros, mientras que en *Biko* y *Runtastic* es de 490 y 530 metros respectivamente. Suponiendo que cada cuadra mida 100 metros, la aplicación *BIKEnergy* está dentro del rango aceptable, mientras que las aplicaciones que funcionan con *GPS* tienen un error de entre 190 y 230 metros, un error bastante considerable, pero entendible debido al mismo uso del *GPS*. Por lo que se puede concluir que en terminos de precisión, *BIKEnergy*, gracias a sus sensores la hace más precisa que una aplicación que use el *GPS* como sensor para recoger los datos de la actividad.

Teniendo en cuenta estas 5 actividades se realizó un diagrama de barras comparativo, en el cual se presenta el error relativo que existe entre *BIKEnergy* y las otras 2 aplicaciones.

Figura 52. Comparación de error relativo para aplicaciones

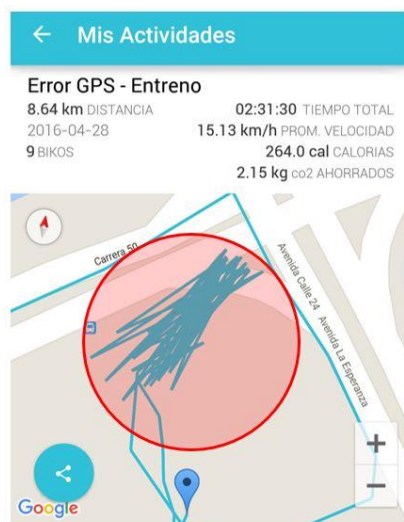


En la Figura 52 se aprecia que el error que hay en las variables distancia, velocidad promedio, velocidad máxima y ritmo promedio es muy bajo, es bastante considerable para el cálculo de calorías, aunque el error para el CO_2 es un poco alto se ve que es proporcional.

Para la distancia, el error es negativo, lo que verifica que las aplicaciones que utilizan *GPS* para su funcionamiento tienden a medir más distancia de la que en realidad se ha recorrido. Ya que cuando en algún punto del recorrido, el ciclista se detiene por completo, el *GPS* no puede tener certeza de esto, debido a su error en la exactitud.

Este error se puede observar en una prueba realizada en la aplicación *Biko*, la cual al término de un recorrido, por error, no se detuvo la actividad y está siguió funcionando por aproximadamente 2 horas más. El celular se dejó dentro de una maleta en un camerino durante un partido de fútbol, por lo que el celular estuvo quieto durante todo ese tiempo, sin embargo, la aplicación tomó valores erróneos de distancia como si se hubiera estado en movimiento, sumando casi 2 kilómetros más al recorrido. Esto lo podemos verificar en la gráfica del recorrido, entregada por la aplicación (Figura 53). Este error puede ocurrir por pérdida de la señal *GPS*, debido al encierro.

Figura 53. Error GPS Biko



Para la velocidad promedio, la aplicación *Biko* tiene un error negativo, mientras que en Runtastic el error es muy bajo. El error en Runtastic se debe al error en distancia, y al desfase que hay en los tiempos de inicio y parada de las actividades, lo que demuestra una proximidad en el resultado. Para *Biko* el error es un poco más grande y negativo, debido a que el cálculo de velocidad no está dado por la división entre distancia y tiempo, como se mostró al principio de este capítulo.

Ya que *Biko* no suministra velocidad máxima, la comparación sólo puede hacerse con Runtastic, y se observa que el error de es similar al de velocidad promedio, aunque un poco más grande, y se puede deber al mismo error de distancia, dando así un valor menor que al entregado por BIKEnergy.

Ritmo promedio tampoco es suministrado por *Biko* y ya que este depende exclusivamente del tiempo y la distancia ((16)) obviamente existe un error, no obstante, este error es muy pequeño, casi insignificante.

Para las calorías existe un error bastante grande, esto es debido a la (17), en la cual se observa que depende de la velocidad y su valor al cubo, por ejemplo, un incremento del 20% en la velocidad incrementaría aproximadamente en un 80% las kilocalorías consumidas. Mientras que en *Biko* un aumento de velocidad promedio, disminuye el consumo de calorías, lo que no es lógico; en Runtastic el aumento de velocidad, aumenta el consumo de kilocalorías, pero no en una forma lineal, lo que implica que usan para su cálculo una constante diferente a 1.

Para los kilogramos de CO_2 se ve un error medio, esto se debe al error en la distancia por el *GPS* y a que la constante de conversión en la fórmula no es la misma, ya que en *Biko* no se especifica para cuál medio de transporte se está calculando.

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Conclusiones

Para suplir las demandas energéticas tanto de la batería como del circuito, la dínamo es lo suficientemente apta para cumplir con los valores de voltaje y corriente adecuados que se requieren para que el sistema sea totalmente autosuficiente.

El tamaño del circuito se puede reducir notablemente con dispositivos electrónicos de superficie, pero para poder lograr la rectificación de la señal entregada por la dínamo es necesario usar los condensadores que tienen un tamaño bastante apreciable. Conseguir estos mismos en un tamaño menor, es difícil debido a que no son muy comerciales, sin tener en cuenta el precio elevado, que en caso de encontrarlos, estos tendrían.

El rendimiento de un deportista está basado en una gran cantidad de variables, aunque unas sean más importantes que otras, todas son determinantes. Por lo tanto, para que un deportista pueda mejorar su rendimiento, debe conocer el mayor número de variables que le sean posibles.

Todas las variables representan una parte del rendimiento y existe una relación entre cada una de ellas, en algunos casos es una relación directa, en otros, dependen de medidas del cuerpo del deportista y en otros, es una combinación de ambos.

Para la toma de mediciones de distancia, el *GPS* tiene un error conocido de entre 2 y 25 metros⁸² por lo que al momento de calcular este dato y el de la velocidad, el cual está directamente relacionado, se tendría un error que no se puede corregir, mientras que con la medición mediante sensores, el cálculo de estas dos variables es bastante preciso, en comparación con el *GPS*.

Tanto el *GPS* como el *Bluetooth* aumentan el consumo de energía en un teléfono inteligente. Pero el consumo por *GPS* es más del triple del consumo por *Bluetooth*⁸³, lo que representa una ventaja de *BIKEnergy* sobre las otras aplicaciones que usan *GPS* para su funcionamiento.

⁸² LANGLEY, Richard B. The GPS error budget. *En: GPS world*. Marzo, 1997. vol. 8, no 3, p. 51-56.

⁸³ CARROLL, Aaron y HEISER, Gernot. An Analysis of Power Consumption in a Smartphone. *En: USENIX annual technical conference*. Junio, 2010. vol. 14, p. 21-21.

La bicicleta como medio alternativo de movilidad es la mejor opción, es el más eficiente (Figura 17) y no emite gases nocivos al medio ambiente, además de que con ella se hace ejercicio cuando se usa.

El viaje de una sola persona en un carro es muy perjudicial para el ambiente, una solución más apropiada es viajar en bus o transporte público, pero por encima de todas, la mejor opción, la más limpia y más verde, es la bicicleta⁸⁴.

A pesar de contar con pocas variables medidas, con estas es posible estimar una gran cantidad de variables que determinan el rendimiento y la no emisión de CO_2 , por medio de ecuaciones obtenidas a través de estudios académicos que relacionan estas variables.

Trabajo futuro

Debido a que el sistema que se expone en este documento es un prototipo, se diseñó primando la funcionalidad por encima de la estética. En consecuencia, es posible realizar modificaciones, para que el sistema mejore en algunos aspectos.

La primera modificación que está prevista para el futuro, es la de reducir el tamaño del sistema. Esto se puede lograr usando componentes electrónicos de superficie o superficiales, los cuales reducen su tamaño de una manera bastante considerable.

Estos cambios de componentes implican una optimización del diseño de la tarjeta, lo cual mejoraría el tamaño, esto implica que el sistema mejore su portabilidad y su aspecto.

Otra modificación que se puede llegar a hacer, es la de cambiar el generador de energía, que es una dínamo de botella por una de buje, que va puesta en el eje de la llanta; el problema de esta última, es su elevado precio, ya que hay que cambiar la llanta completa, y no se adapta a cualquier rueda, como lo hace la de botella. La ventaja de la dínamo de buje, es que no incrementa considerablemente la fricción en la rueda.

Una mejora, bastante útil sería mostrar el nivel de carga de la batería en la aplicación, mostrando un aviso o advertencia cuando se esté descargando la batería, lo que implicaría un cambio de microcontrolador, a uno que posea lectura análoga; esto con el fin de que la dínamo este en contacto con la llanta, sólo cuando la batería esté descargada.

Otra mejora que se piensa implementar en un futuro, es la de poder compartir la información de las actividades realizadas en redes sociales, con el fin de que se

⁸⁴ BLONDEL, Benoit; MISPELON, Chloé y FERGUSON, Julian. *Cycle more Often 2 cool down the planet - Quantifying CO2 Savings of Cyling*. Bruselas: *European Cyclists' Federation (ECF)*, 2011. p. 9-11.

compita entre amigos, quién es el que más aporta al medio ambiente, incentivando al uso de medios alternativos. También competir con el rendimiento, lo que motivaría a los deportistas a superarse y estar en un nivel más alto, mejorando su rendimiento.

También es posible realizar más relaciones entre variables. Por ejemplo, relacionar la cadencia y la velocidad, con la inclinación del terreno; ya que cuando se sube un terreno inclinado la cadencia aumenta, al tiempo que la velocidad disminuye. Por el contrario si la velocidad aumenta y la cadencia disminuye, es porque se está yendo cuesta abajo.

Lo anterior daría una mayor precisión al consumo de oxígeno y al ritmo cardiaco, ya que no se tendría en cuenta el aumento de velocidad en las bajadas, ya que en estos puntos, ni el consumo de oxígeno, ni el ritmo cardiaco aumentan, por el contrario, disminuyen.

Finalmente, se pueden agregar otros sensores que midan el nivel de contaminación ambiental, para que la bicicleta se convierta en una fuente de información y a través de una aplicación, se cree una red social de comunicación, donde todos los ciclistas puedan aportar e informarse, accediendo a mapas con lugares críticos de contaminación y rutas eficientes con estadísticas.

GLOSARIO

Las siguientes definiciones fueron tomadas del diccionario de la lengua española, salvo algunos términos que serán referenciados según la fuente de consulta⁸⁵.

MEDIO AMBIENTE: conjunto de circunstancias exteriores a un ser vivo.

APLICACIÓN MÓVIL: es un programa informático creado para llevar a cabo o facilitar una tarea en un dispositivo informático⁸⁶.

ASÍNCRONO: que no tiene lugar en completa correspondencia temporal con otro proceso con la causa que lo produce.

AUTOSUFICIENTE: que se basta a sí mismo.

BAUDIO: unidad de velocidad en la transmisión de cantidad de información, equivalente al número de impulsos por segundo.

BASAL: dicho del nivel de actividad de una función orgánica: Que es el que tiene durante el reposo y el ayuno.

BIT: unidad de medida de cantidad de información, equivalente a la elección entre dos posibilidades igualmente probables.

BYTE: unidad de información compuesta generalmente de ocho bits.

CADENCIA: número de casos o de apariciones que se repiten por unidad de tiempo.

CALORÍA: unidad de energía equivalente a 4,185 julios, anteriormente definida como unidad de energía térmica equivalente a la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de agua en 1 grado Celsius, de 14,5 °C a 15,5 °C, a la presión normal. (Símb. cal).

CICLO MAQUINA: periodo que tarda una secuencia de pasos, desde que se toma una instrucción hasta la siguiente, en lenguaje máquina⁸⁷.

⁸⁵ REAL ACADEMÍA ESPAÑOLA. Diccionario [en línea]. < <http://dle.rae.es/> > [consultado el 15 de mayo de 2016].

⁸⁶ MASTERMAGAZINE. Definición de aplicación [en línea]. <<http://www.mastermagazine.info/termino/3874.php> > [consultado el 17 de mayo de 2016].

⁸⁷ JEGSWORKS. Procesamiento [en línea]. <<http://www.jegsworks.com/lessons-sp/lesson4/lesson4-4.htm>> [consultado el 17 de mayo de 2016].

COMUNICACIÓN SERIAL: es un protocolo para comunicación entre dispositivos utilizado para adquisición de datos si se usa en conjunto con un dispositivo remoto de muestreo⁸⁸.

DATO: información dispuesta de manera adecuada para su tratamiento por una computadora.

DÍNAMO: máquina destinada a transformar la energía mecánica en energía eléctrica, por inducción electromagnética, debida a la rotación de cuerpos conductores en un campo magnético.

DISPOSITIVO: mecanismo o artificio para producir una acción prevista.

DISPOSITIVO MÓVIL: aparato de pequeño tamaño, con capacidades de procesamiento, conexión a una red, memoria limitada, diseñado para funciones específicas, pero puede llevar a cabo otras funciones más generales⁸⁹.

ECONOMÍA ATLÉTICA: es el gasto de energía requerido para una carga de trabajo determinada. Se puede aplicar a la frecuencia cardíaca, el consumo de oxígeno o las calorías⁹⁰.

EFICIENCIA: capacidad de disponer de algo para conseguir un efecto determinado.

EFICIENCIA ATLÉTICA: es una proporción de la cantidad de energía producida por un atleta, en calorías, dividido por la cantidad de energía metabolizada por el mismo, en calorías, para producir ese trabajo⁹¹.

ENERGÍA: capacidad para realizar un trabajo. Se mide en julios. (Símb. E).

ENERGÉTICO: que produce energía.

ESTADÍSTICA: estudio de los datos cuantitativos de la población, de los recursos naturales e industriales, del tráfico o de cualquier otra manifestación de las sociedades humanas.

FILTRO: dispositivo que elimina o selecciona ciertas frecuencias de un espectro eléctrico, acústico, óptico o mecánico.

FISIOLOGÍA: ciencia que tiene por objeto el estudio de las funciones de los seres orgánicos.

⁸⁸ NATIONAL INSTRUMENTS. Comunicación serial [en línea].

<<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>> [consultado el 17 de mayo de 2016].

⁸⁹ ADMSALUDV. Que son dispositivos móviles. [en línea].

<<https://admsaludv.wordpress.com/59-2/>> [consultado el 17 de mayo de 2016].

⁹⁰ BAKER. Op. cit., p. 131.

⁹¹ BAKER. Op. cit., p. 130-131.

FRECUENCIA: número de veces que se repite un proceso periódico por unidad de tiempo. Número de elementos comprendidos dentro de un intervalo en una distribución determinada.

HUELLA ECOLÓGICA: es el total de la superficie ecológicamente productiva necesaria para producir los recursos consumidos por un ciudadano, así como la necesaria para absorber los residuos que genera⁹².

HISTÉRESIS: fenómeno por el que el estado de un material depende de su historia previa y que se manifiesta por el retraso del efecto sobre la causa que lo produce.

INTERFAZ: conexión, física o lógica, entre una computadora y el usuario, un dispositivo periférico o un enlace de comunicaciones.

KILOCALORÍA: unidad de energía equivalente a 1000 calorías. (Símb. kcal).

MEGATENDENCIA: son las actitudes, creencias, valores y acciones que durante cierto tiempo impactan la vida social, política, económica y cultural de los seres humanos de tal forma, que al final de dicho periodo terminan por modificarla sustancialmente⁹³.

MICROCONTROLADOR: Es un circuito integrado que en su interior contiene una unidad central de procesamiento, unidades de memoria, puertos de entrada y de salida y periféricos⁹⁴.

PERIODO: tiempo que tarda un fenómeno periódico en recorrer todas sus fases.

PIN: cada una de las patillas metálicas de un conector multipolar.

POTENCIA: cantidad de energía producida o consumida por unidad de tiempo.

RECTIFICADOR: aparato que transforma una corriente alterna en corriente continua.

REGULADOR DE VOLTAJE: son usados para mantener una salida de voltaje predeterminada, a pesar de las variaciones en la entrada de la fuente y a pesar de las variaciones que se puedan dar en la carga⁹⁵.

⁹² ECO INTELIGENCIA. Que es la huella ecológica. [en línea].

<<http://www.ecointeligencia.com/2011/03/que-es-la-huella-ecologica/>> [consultado el 17 de mayo de 2016].

⁹³ FORBES. Emprendimiento [en línea]. <<http://www.forbes.com.mx/emprendimiento-una-megatendencia-nivel-mundial/>> [consultado el 17 de mayo de 2016].

⁹⁴ ELECTRONICA ESTUDIO. Que es un microcontrolador [en línea].

<<http://www.electronicaestudio.com/microcontrolador.htm>> [consultado el 17 de mayo de 2016].

⁹⁵ GALEON. Reguladores de voltaje en circuitos integrado. [en línea].

<<http://gabrielnagano.galeon.com/tarea4.htm>> [consultado el 17 de mayo de 2016].

RENDIMIENTO: producto o utilidad que rinde o da alguien o algo.

SENSOR: dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.

SEÑAL: variación de una corriente eléctrica u otra magnitud que se utiliza para transmitir información.

SISTEMA: conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto.

SISTEMA OPERATIVO: proporciona las funciones principales para el dispositivo electrónico, como el reconocimiento de entrada y la visualización de la interfaz de usuario dentro de la pantalla⁹⁶.

TRABAJO: producto de la fuerza por la distancia que recorre su punto de aplicación.

FUERZA: causa capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo, o de deformarlo.

VELOCIDAD: magnitud física que expresa el espacio recorrido por un móvil en la unidad de tiempo, y cuya unidad en el sistema internacional es el metro por segundo (m/s).

VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN: indica el número de bits por segundo que se transfieren y se mide en baudios⁹⁷.

⁹⁶ INFORMÁTICA HOY. Soluciones móviles. [en línea]. <<http://www.informatica-hoy.com.ar/soluciones-moviles/Cual-es-el-mejor-sistema-operativo-para-un-smartphone.php>> [consultado el 17 de mayo de 2016].

⁹⁷ NATIONAL INSTRUMENTS. Op. cit.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACERO MORA, Jesús David. Los sistemas de Bicicletas Vistos desde la Relación Servicio-Producto. Tesis de Maestría Medio Ambiente y Desarrollo. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Económicas, 2011. 92 p.

ADMSALUDV. Que son dispositivos móviles. [en línea]. <<https://admsaludv.wordpress.com/59-2/>> [consultado el 17 de mayo de 2016].

Alto rendimiento. Curso de preparación física de ciclismo. Alto rendimiento, ciencia deportiva, entrenamiento y fitness [en línea], 1 de Junio del 2015. Disponible en Internet: <<http://altorendimiento.com/curso/curso-preparacion-fisica-ciclismo/>>

ÁLVAREZ CARRANZA, Antonio, et al. Aplicación Móvil para la Gestión y Análisis de los Datos Especiales de Interés Turístico en el Territorio de Bilbao. En: Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. (16: 25-27, Junio, 2014: Alicante). Universidad de Alicante.

Aplicaciones para ciclistas en el teléfono móvil: rutas, arreglos mecánicos, rendimiento deportivo [Anónimo]. Ideas Geek [En línea], 8 de Junio de 2015. Disponible en Internet: <<http://www.ideasgeek.net/2012/10/27/aplicaciones-para-ciclistas-en-el-telefono-movil-rutas-arreglos-mecanicos-rendimiento-deportivo/>>

APP INVENTOR 2. [en línea]. < <http://ai2.appinventor.mit.edu/>> [consultado el 02 de junio de 2016].

ARDUINO. [en línea]. < <https://www.arduino.cc/>> [consultado el 02 de junio de 2016].

ATMEL. Data Sheet Atmega8. Disponible En: <http://www.atmel.com/images/atmel-8159-8-bit-avr-microcontroller-atmega8a_datasheet.pdf>

BACHESTEROS, Jorge. Obstáculos y limitaciones para la implementación de política de uso de la bicicleta en Colombia. Tesis de Maestría en Estudios

urbanos regionales. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Arquitectura, 2014. p. 13-21, 47, 81-164.

BAKER, Arnie. Dieta y nutrición. En: Medicina del ciclismo. 1 ed. Barcelona: Paidotribo, 2002. p. 20-21, 80, 117-118, 130-131. ISBN 848019586X.

BIKO. [en línea]. < <http://biko.com.co/>> [consultado el 02 de junio de 2016].

BLONDEL, Benoit; MISPELON, Chloé y FERGUSON, Julian. Cycle more Often 2 cool down the planet - Quantifying CO2 Savings of Cyling. Bruselas: European Cyclists' Federation (ECF), 2011. p. 9-11.

BOWERS, Richard y FOX, Edward. Sistemas energéticos. En: Fisiología del deporte. 3 ed. Buenos Aires: Panamericana, 1995. p. 14-15, 30-32. ISBN 9500607778

BUSH&MÜLLER. USB-Werk. B+M Bush+Müller [En línea], 8 de Junio de 2015. Disponible en Internet: <<http://www.bumm.de/produkte/e-werk-usb-werk.html>>

CARMONA, Guadalupe y DÍAZ, Tomás. Rectificadores y filtros. En: Electrónica aplicada. 1 ed. Malaga: Interamericana de España, 2010. p. 153. ISBN. 9788448171629

CARMONA ZERECERO, Abraham; ORTEGA CALZADA, Andrés y SÁNCHEZ VIOLANTE, Abraham. Trabajo de Grado Ingeniería Mecatrónica. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería, 2012. 170 p.

CARROLL, Aaron y HEISER, Gernot. An Analysis of Power Consumption in a Smartphone. En: USENIX annual technical conference. Junio, 2010. vol. 14, p. 21-21.

CASTANHEIRA SANTOS, Luis Filipe. Energym. Actividade física e eficiência energética. Tesis de Maestría Diseño de Producto. Lisboa: Universidad Técnica de Lisboa. Facultad de Arquitectura, 2011, 268 p.

CASTRO, Luis. ¿Qué es almacenamiento en la nube? about en español, Internet básico [en línea], 1 de Junio de 2015. Disponible en Internet: <http://aprenderinternet.about.com/od/La_nube/g/Almacenamiento-en-la-nube.htm>

Colombia se quiere poner al día en la agenda de las energías renovables [Anónimo]. Dinero [En línea], 8 de Junio de 2015. Disponible en Internet: <<http://www.dinero.com/pais/articulo/avances-colombia-hacia-energias-renovables/208689>>

DATASHEETCATALOG. Data sheet J1850 8-Bit 68HC05. Disponible En: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets/270/75770_DS.pdf >

D'AGOSTINO, Alexis José Félix. Diseño de Producto: Generación de Energía Eléctrica a Partir de Bicicletas Fijas Indoor. Trabajo de Grado. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, 2014. 105 p.

Definicion.de. Definición de rendimiento deportivo. Definición de [en línea], 1 de Junio del 2015. Disponible en: <<http://definicion.de/rendimiento-deportivo/>>

DI PRAMPERO, P. E., et al. Equation of motion of a cyclist. En: Journal of Applied Physiology. Julio, 1979. vol. 47, no. 1, p. 201-206.

DIAMOND, Monroe y VUONG, Brian. Energy Harvesting from Exercise Machines: Bike Buck-Boost Converter. Trabajo de Grado. San Luis Obispo: Universidad Politécnica Estatal de California. Departamento de Ingeniería Electrónica, 2010. 40 p.

DÍAZ CORCOBADO, Tomás y CARMONA RUBIO, Guadalupe. Rectificadores y filtros. En: Electrónica aplicada. 1 ed. España: McGRAW-HILL, 2010. p. 144-152. ISBN 844-81-7162-4

DUBOIS, Delafield y DUBOIS, Eugene. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. En: Archive of Internal Medicine. Junio, 1916. vol. 17, p.863–871.

EAGLE. [en línea]. < <http://www.cadsoftusa.com/>> [consultado el 02 de junio de 2016].

ECO INTELIGENCIA. Que es la huella ecológica. [en línea]. <<http://www.ecointeligencia.com/2011/03/que-es-la-huella-ecologica/>> [consultado el 17 de mayo de 2016]

EISENMAN, Shane, et al. BikeNet: A mobile Sensing System for Cyclist Experience Mapping. En: ACM Transactions on Sensor Networks. Diciembre, 2009. Vol. 6.

ELECTRONICA ESTUDIO. Que es un microcontrolador [en línea]. <<http://www.electronicaestudio.com/microcontrolador.htm>> [consultado el 17 de mayo de 2016]

Electrónica Telecomunicaciones y Redes. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimbonazo. Facultad de Informática y Telecomunicaciones, Escuela de Ingeniería Electrónica Telecomunicaciones y Redes, 2013. 154 p.

Electrónica Telecomunicaciones y Redes. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Eléctrica, 2013, 95 p.

Explicación y Definición de una Página Web. queesinfo. [En línea]. 1 Junio de 2015. Disponible en Internet: <<http://www.quees.info/que-es-una-pagina-web.html>>

FAIN, R.M; HOPCROFT, M.A. y WRIGHT, P.K. Development of a Microscale Energy Harvesting System for Portable Device Recharging: A Laptop Case Model. En: System. Diciembre, 2009. p. 423-426.

FERATI, Pajtim, et al. Power 2π - Mobile Bicycle Generator. Trabajo de Grado. Nueva Jersey: Universidad de Rutgers. Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación. 45 p.

FERNÁNDEZ DE ARAOZ GARCÍA Y MIÑAUR, Iñigo. Desarrollo de un Prototipo de Ordenador para una Bicicleta de Montaña. En: Universidad Pontificia Comillas.

FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, Manu. El Valor Cívico de las Aplicaciones Móviles. En: Congreso Sostenibilidad Ciudad y Arquitectura. (16: 13-14, Diciembre, 2012: San Sebastián). Universidad del País Vasco.

FORBES. Emprendimiento [en línea]. <<http://www.forbes.com.mx/emprendimiento-una-megatendencia-nivel-mundial/>> [consultado el 17 de mayo de 2016]

FUNDACIÓN TERRA. Energía de propulsión humana en bicicleta, Terra ecología práctica [En línea], 8 de Junio de 2015. Disponible en Internet: <<http://www.terra.org/categorias/articulos/energia-de-propulsion-humana-en-bicicleta>>

GALEON. Reguladores de voltaje en circuitos integrado. [en línea]. <<http://gabrielnagano.galeon.com/tarea4.htm>> [consultado el 17 de mayo de 2016]

GIANG, Steven. The University of Arizona. The Energy City: Bicycle Master Plan 2014. Ayuntamiento de Austin: 2014. 44 .p

GONZÁLEZ GARZA, Rodolfo, *et al.* Monitoreo de variables en el desempeño deportivo del ciclista. En: II Congreso latinoamericano de ingeniería biomédica. (23-25, Mayo, 2001: La Habana).

GONZÁLEZ HARO, Carlos. Validación de una prueba de campo para determinar la potencia aeróbica máxima en ciclismo. Tesis Doctoral. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, Facultad de medicina, Departamento de farmacología y fisiología. 2006. 232 p.

GORLATOVA, Maria; WALLWATER, Aya y ZUSSMAN, Gil. Networking Low-Power Energy Harvesting Devices: Measurements and Algorithms. En: IEEE Transactions on Mobile Computing. Diciembre, 2013. Vol. 12, p. 1853-1865.

GRUPO DE DESARROLLO REGIONAL DE MONTERREY. Consumidor ecológico y Virtualidad cotidiana. En: Las megatendencias tecnológicas actuales y su impacto en la identificación de oportunidades estratégicas de negocios. 1 ed. Monterrey: Tecnológico de Monterrey, 2009. p. 25-33, 123-134. ISBN 978-607-7517-25-2.

HUI, Michael. Energy Harvesting Bicycle. Trabajo de Grado Licenciatura en Ciencias. San Luis Obispo: Universidad Politécnica Estatal de California. Departamento de Ingeniería Eléctrica, 2011. 18 p.

INFORMÁTICA HOY. Soluciones móviles. [en línea]. <<http://www.informatica-hoy.com.ar/soluciones-moviles/Cual-es-el-mejor-sistema-operativo-para-un-smartphone.php>> [consultado el 17 de mayo de 2016].

INTEL CORPORATION. A case study of an android client app using cloud-based alert service. Intel [en línea]. 8 de Junio de 2015. Disponible en Internet: <<https://software.intel.com/sites/default/files/managed/61/ec/android-cloud-based-alert-service-client-app-case-study.pdf>>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Transport Energy and CO2: Moving Toward Sustainability. 2009. 786 p. ISBN-10-9264073167

JEGSWORKS. Procesamiento [en línea]. <<http://www.jegsworks.com/lessons-sp/lesson4/lesson4-4.htm>> [consultado el 17 de mayo de 2016]

LANGLEY, Richard B. The GPS error budget. En: GPS world. Marzo, 1997. vol. 8, no 3, p. 51-56.

LEE, Wei-Meng. Getting started with android programming. En: Beginning Android 4 Application Development. 1 ed. Indianapolis: Jhon Wiley & sons, 2012. p. 2-4. ISBN 978-1-118-19954-1

LOUNANA Joseph, *et al.* Relationship between %HRmax, %HR Reserve, % $\dot{V}O_2$ max, and % $\dot{V}O_2$ Reserve in Elite Cyclists. En: Medicine and Science in Sports and Exercise. Febrero, 2007. vol. 39, no. 2, p. 350-357.

MALDONADO GRUNWALD, Pedro y JIMENEZ ESTÉVEZ, Guillermo. Aplicación de Acumuladores Electroquímicos para el Almacenamiento Comercial de Energía Eléctrica en Sistemas Interconectados. Trabajo de grado Ingeniería en

MARTÍN BLAS, Teresa y SERRANO FERNÁNDEZ, Ana. Inducción magnética. Curso de física básica [en línea], 1 de Junio del 2015. Disponible en Internet: <<http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/magnet/induction.html>>

MASTERMAGAZINE. Definición de aplicación [en línea]. <<http://www.mastermagazine.info/termino/3874.php>> [consultado el 17 de mayo de 2016]

MATEU SÁEZ, M. Loreto. Energy Harvesting form Passive Human Power. Tesis de Maestría Ingeniería Electrónica. 2004. 40 p.

MCARDLE, William D.; KATCH Frank I. y KATCH, Victor L. En: Fundamentos de fisiología del ejercicio. 2 ed. Madrid: McGRAW-HILL, 2004. p. 134-236, 283, 297-298. ISBN 9788448605988

MENDENHALL, William y SINCICH, Terry. Medidas de variación. En: Probabilidad y estadística. 4 ed. Naucalpan de Juárez: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1997. p. 45-46. ISBN 968-880-960-8.

MICREL, *The infinite Bandwidth Company. Datasheet LM2576 52KHz, Simple 3A Buck regulator, final information.* p. 1.

MICROCHIP. [en línea]. < <http://www.microchip.com/>> [consultado el 02 de junio de 2016].

MICROCHIP. Data Sheet PIC16F628A. Disponible En: <<http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F628A>>

MIKROC. [en línea]. < <http://www.mikroe.com/mikroc/pic/>> [consultado el 02 de junio de 2016].

MINAZARA, Ericka; VASIC, Dejan y COSTA, François. Piezoelectric Generator Harvesting Bike Vibrations Energy to Supply Portable Devices. En: Conferencia Internacional Renewable Energies and Power Quality.

MITCHESON, Paul D. IEEE Member, et al. Energy Harvesting From Human and Machine Motion for Wireless Electronic Devices. En: Proceedings of the IEEE. Septiembre, 2008. Vol. 96, no. 9, p. 1457-1486.

MÜLLER, Jörg y GIRÓ MARTÍ, Xavier. El futuro de la conectividad: La Bicicleta, Wireless y otros Dispositivos Móviles. En: Kikirikí: cooperación educativa. Diciembre-Mayo, 2004-2005. No.75-76, p. 69-74.

MULLER, Nathan J. Por qué es necesario Bluetooth y Conceptos básicos. En: Tecnología Bluetooth. Madrid: McGRAW-HILL, 2002. p. 1- 47. ISBN 84-481-3593-8

NATIONAL INSTRUMENTS. Comunicación serial [en línea]. <<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>> [consultado el 17 de mayo de 2016]

NES, B, *et al.* Age-predicted maximal heart rate in healthy subjects: The HUNT Fitness Study. En: Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. Diciembre, 2013. vol. 23, p. 697–704.

NOYA, Carlos. La Copenhagen Wheel ya está disponible. Electrifica tu bicicleta en segundos, y por un precio razonable. Forocoche eléctricos. [En línea], 6 de Junio de 2015. Disponible en Internet: <<http://forococheelectricos.com/2013/12/copenhagen-wheel-precio.html>>

NUÑES RODRÍGUEZ, Carlos Fabián Y FLÓREZ REYES, Julián Oswaldo. Diseño de un Sistema de Generación de Energía eléctrica a partir de Bicicletas Estáticas. Trabajo de Grado Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y de Telecomunicaciones, 2011. 77 p.

OLARTE BENVAIDES, Santiago Enrique. Diseño y construcción de un Sistema Híbrido para una Bicicleta de Montaña. Trabajo de grado Ingeniería Mecánica. Quito: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2013. 297 p.

OROZCO, David. Introducción al procesamiento de señales. ConceptoDefinicion [En línea]. 1 Junio de 2015. Disponible en Internet: <<http://conceptodefinicion.de/android/>>

PATÍÑO DIAZ-ALEJO, Ángel. Aplicación Móvil en Android para la Gestión de Entrenos de Deportistas. Trabajo de Grado Ingeniería en Informática. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, 2013, 93 p.

PEDALITE INTERNATIONAL LTDA. Energy Harvesting and Energy Re-Use, Pedalite International [en línea]. 8 de Junio de 2015. Disponible en Internet: <<http://www.pedalite.com/assets/Energyharvestingreuse.pdf>>

POWER SUPPLY AND CHARGER SYSTEM FOR BICYCLE. Inventor: TAIPEI CHANG TA-SHUO. Int.CL.: H02J 7/00. Fecha de solicitud: 15, noviembre, 2002. Estados Unidos. US 2004/0095092 A1. 20, Abril, 2004.

QUICK, Darren. Nokia's Bicycle Charger Kit a Stroke of Genius. gizmag [En línea], 6 de Junio de 2015. Disponible en Internet: <<http://www.gizmag.com/nokia-bicycle-charger-kit/15312/>>

REAL ACADEMÍA ESPAÑOLA. Diccionario [en línea]. < <http://dle.rae.es/> > [consultado el 15 de mayo de 2016]

RIAÑO, William David. Fuente de alimentación variable a pequeña escala controlada por puerto serial o Bluetooth. Trabajo de Grado. Facultad de ingeniería electrónica. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana Bogotá. Facultad de Ingeniería Electrónica, 2014. 47 p.

RÍOS ZORRILLA, Marco Antonio. Análisis Desarrollo y Evaluación de un Plan de Entrenamiento sobre Bicicletas Estáticas. Tesis de Maestría Educación Corporal. La Plata: Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, 2013, 145 p.

RODRÍGUEZ, Eugenio. Copenhagen Wheel: La próxima Generación de Bicicleta. Energía y Electrónica [En línea], 6 de Junio de 2015. Disponible en Internet: <<http://www.fierasdelaingenieria.com/copenhagen-wheel-la-proxima-generacion-de-bicicletas/>>

ROMERO TERNERO, María del Carmen. Tema 3, transmisión de datos [En línea]. Departamento de tecnología electrónica [en línea], 1 de Junio del 2015. Disponible en Internet: <<http://www.dte.us.es/personal/mcromero/docs/arc1/tema3-arc1.pdf>>

RUNTASTIC. [en línea]. < <https://www.runtastic.com/es> > [consultado el 02 de junio de 2016].

SANJAY, Samuel David. Harvesting Electrical Energy from a Stationary Bike: An Experimental Approach. Tesis de Maestría. Nueva Zelanda: Universidad de Massey. Escuela de Ingeniería y Avances Tecnológicos, 2014. 163 p.

SEGURA, Paco. Transporte y cambio climático. En: Revista El Ecologista. Junio, 2007. no. 53. Gráfico 10. Disponible En: <http://www.ecologistasenaccion.org/article20911.html>.

SERGEYEVICH, Victor y DMITRIYEVICH, Vladimir. Fisiología del deportista. 2 ed. Barcelona: Paidotribo, 2001. p. 7, 37-38, 117-118. ISBN 8480192186

SERWAY, Raymond A. y BEICHNER, Robert J. Ley de Faraday y Campos magnéticos. En: FÍSICA Para Ciencias e Ingeniería. 5 ed. México D.F.: MCGRAW-HILL, 2001. vol. 2, p. 925-927, 979-984, 994-996. ISBN 970-10-3582-8

STARNER, Thad y PARADISO, Joseph A. Human Generated Power for Mobile Electronics. En: Low-Power Electronics. Diciembre, 2004. p. 1-30.

SUÁREZ, Luis. La energía humana el esfuerzo físico. En: Ingeniería e Investigación. Junio ,1991. no. 22, p. 20-24.

TANAKA, Hirofumi; MONAHAN, Kevin y SEALS, Douglas. Age- Predicted Maximal Heart Rate Revisited. En: Journal of the American College of Cardiology. Enero, 2001. vol. 37, no. 1, p. 153-156.

TAPIA BERRONES, Víctor Hugo. Diseño e Implementación de un Sistema de Transferencia de Datos por Telemetría para un Vehículo de Competencia con el Uso de la Tecnología Inalámbrica Bluetooth. Trabajo de grado Electrónica Telecomunicaciones y Redes. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimbonazo. Facultad de Informática y Telecomunicaciones, Escuela de Ingeniería Electrónica Telecomunicaciones y Redes, 2013. p. 154

TIAGO, Justino y BUYYA, Rajkumar. Outsourcing Resource-Intensive Tasks from Mobile Apps to Clouds: Android and Aneka Integration. En: Conferencia Internacional IEEE: Cloud Computing in Emerging Markets (15-17, octubre: Bangalore). 2014. p. 1-8

UTH, Niels, *et al.* Estimation of $\dot{V}O_{2max}$ from the ratio between HR_{max} and HR_{reset} - the Heart Rate Method. En: European Journal of Applied Physiology. Enero, 2004. vol. 91, p. 111–115.

VERLE, Milan. Detalles importantes. En: Microcontroladores PIC–Programación en C con ejemplos. Disponible en: <http://learn.mikroe.com/ebooks/microcontroladorespicc>

VIGNOLO BARCHIESI, Juan. Definición de Android [En línea]. Ediciones Universitarias de Valparaíso Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. [Valparaíso, Chile] Impreso en Litografía Garín, 2008. [Citado el 1 Junio de 2015]. Disponible en Internet: <http://www.euv.cl/archivos_pdf/senales.pdf>

WALPOLE, Ronald, et al. Regresión lineal simple y correlación. En: Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. 8 ed. Naucalpan de Juárez: Prentice-Hall Hispanoamericana, 2007. p. 389-409. ISBN 970-26-0936-4.

WIKIPEDIA. Batería recargable. Disponible En: <https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_recargable>

YOONSEOK, Yang; JEONGJIN, Yeo y SHASHANK, Priya. Harvesting energy from the Counterbalancing (Weaving) Movement in Bicycle Riding. En: Sensors (Suiza). Diciembre, 2012. Vol. 12, no. 8, p. 10248-10258.